

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

Т.И. Белова, В.И. Гаврищук, Е.М. Агашков, Д.П. Санников

**СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ.  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЫЛЕУДАЛЕНИЯ  
ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ**

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

Орел 2013

УДК 628.511-784.4(075)  
ББК 51.245Я7  
С40

### Рецензенты

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой  
«Безопасность жизнедеятельности»  
Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Брянский государственный университет  
имени академика И.Г. Петровского»,  
*С.С. Сухов*

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

#### **Белова Т.И.**

С40 Системы защиты среды обитания. Исследования параметров пылеудаления воздуха рабочей зоны: лабораторный практикум для высшего профессионального образования / Т.И. Белова, В.И. Гаврищук, Е.М. Агашков, Д.П. Санников. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2012. – 65 с.

Рассмотрены основные методы и средства контроля запыленности воздуха рабочей зоны, системы для обеспечения необходимого качества воздушной среды производственного помещения и выбрасываемого воздуха в атмосферу. Приведены методические аспекты, формирующие у студентов навыки проведения анализа запыленности воздушной среды и проектирования систем защиты среды обитания.

Предназначено студентам, обучающимся по специальности 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», и изучающим дисциплину «Системы защиты среды обитания».

УДК 628.511-784.4(075)  
ББК 51.245Я7

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Поддержание чистоты воздуха производственных помещений в определенных пределах .....	5
1.1. Термины и определения .....	5
1.2. Примеры применения чистых помещений .....	6
1.3. Методика определения класса чистоты помещения .....	8
1.4. Методика проверки чистоты воздуха заданным требованиям.....	10
2. Методы определения запыленности удаляемого воздуха .....	12
3. Методы дисперсного анализа пыли .....	16
3.1. Основные методы дисперсного анализа пыли .....	16
3.2. Методика микроскопического определения дисперсного состава пыли.....	17
4. Эффективность пылеудаления местной вытяжной вентиляции..	19
4.1. Системы вентиляции производственных помещений и их классификация.....	19
4.2. Оценка эффективности местных отсосов.....	27
4.3. Методика определения концентрации пыли в воздухе гравиметрическим методом.....	29
5. Системы контроля параметров воздушной среды.....	32
6. Описание лабораторных работ.....	40
Лабораторная работа № 1. Определение класса чистоты производственного помещения.....	40
Лабораторная работа № 2. Определение дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны методом микроскопирования.....	45
Лабораторная работа № 3. Определение эффективности пылеудаления местной вытяжной вентиляции гравиметрическим методом.....	51
Лабораторная работа № 4. Оптические методы контроля содержания пыли в воздухе.....	55
Литература.....	59
Приложение А. Определение группы дисперсности пыли .....	61
Приложение Б. Классификация пылеуловителей .....	62
Приложение В. Подразделение пылеуловителей по нижнему пределу размеров частиц пыли .....	63
Приложение Г. Форма отчета по лабораторной работе .....	64

## **ВВЕДЕНИЕ**

Одной из основных задач профессиональной деятельности специалиста в области безопасности жизнедеятельности является участие в разработке, эксплуатации и совершенствовании оборудования, соответствующих алгоритмов и программ расчетов параметров технологических процессов защиты среды обитания. Инженер по безопасности жизнедеятельности в техносфере должен знать принципы работы, технические характеристики и конструктивные особенности существующих и разрабатываемых технических средств защиты.

В лабораторном практикуме отражены прикладные аспекты инженерной защиты среды обитания – воздуха рабочей зоны и атмосферного воздуха в теоретической и практической частях.

Теоретическая часть лабораторного практикума содержит информацию по обеспечению чистоты производственных помещений, существующим методам определения содержания пыли в воздухе, дисперсному анализу взвешенных частиц в воздухе, существующих и рекомендуемых систем вентиляции с использованием автоматических и автоматизированных систем контроля параметров воздушной среды обитания.

# 1. ПОДДЕРЖАНИЕ ЧИСТОТЫ ВОЗДУХА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ В ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПРЕДЕЛАХ

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 [1].

## 1.1 Термины и определения:

В процессе развития представлений о чистых помещениях складывалась специфическая терминология. Наиболее важные термины закреплены в нормативных документах [2].

*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 [2]. Чистое помещение может содержать одну или несколько чистых зон [1].

*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 замкнутой 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 несколько чистых зон со всеми относящимися к ним структурами, системами подготовки воздуха, обслуживания и утилизации [2].

*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.

## **1.2. Примеры применения 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) [1].

Таблица 1

Примеры применения чистых помещений

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

### 1.3. Методика определения класса чистоты помещения

При определении класса чистоты указывается состояние чистых помещений – «построенное», «оснащенное» или «эксплуатируемое» [2]. 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

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

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:

Таблица 2

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

Класс N ИСО (N-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.

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:*  $D_2 \geq 1,5D_1$ .

#### **1.4. 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 [2].

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 испытуемого чистого помещения или чистой зоны (с информацией о соседних зонах, при необходимости) и координаты всех точек 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.

## 2 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА

Все методы определения концентрации пыли делятся на методы с предварительным осаждением и методы без предварительного осаждения пылей [3].

К первой группе методов относятся:

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

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

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

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

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

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

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

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

Ко второй группе методов относятся:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

электрических импульсов, возникающих при соударении частиц с пьезокристаллом.

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

### 3. МЕТОДЫ ДИСПЕРСНОГО АНАЛИЗА ПЫЛИ

#### 3.1. Основные методы дисперсного анализа пыли

Одним из основных параметров пыли является дисперсный состав, при помощи которого можно рассчитать скорость движения воздуха в зоне вытяжных зондов, как для удаления пыли из воздуха рабочей зоны, так и для ее сбора, как продукта производства. Диапазон аэрозольных частиц находится в пределах  $10^{-7} - 10^{-1}$  см [4]. 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 [5].

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 [6, 7].

*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.

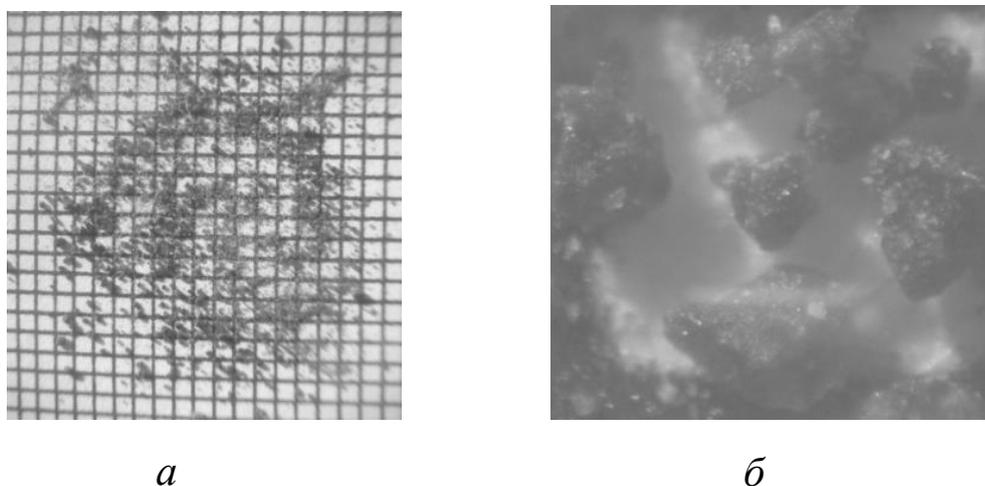
*Центробежная сепарация* – разделение пыли на фракции с помощью центробежной силы в специальном аппарате.

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

### 3.2. Методика микроскопического определения дисперсного состава 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 [4, 8]. Метод микроскопирования при визуальном анализе является трудоемким, поэтому для уменьшения затрат времени и напряжения внимания используются цифровой фотоаппарат и компьютерные программы [5, 6].

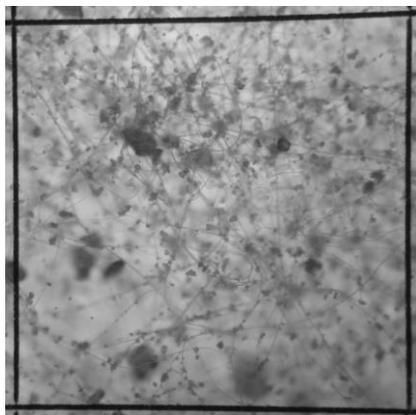
При определении дисперсного состава пыли воздуха рабочей зоны и воздуха, удаляемого системой вентиляции, необходимо производить отбор проб из соответствующих мест. Пробы осаждают либо на аналитических фильтрах, либо собирают с помощью систем осаждения. И тот, и другой метод сбора позволяют проводить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



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

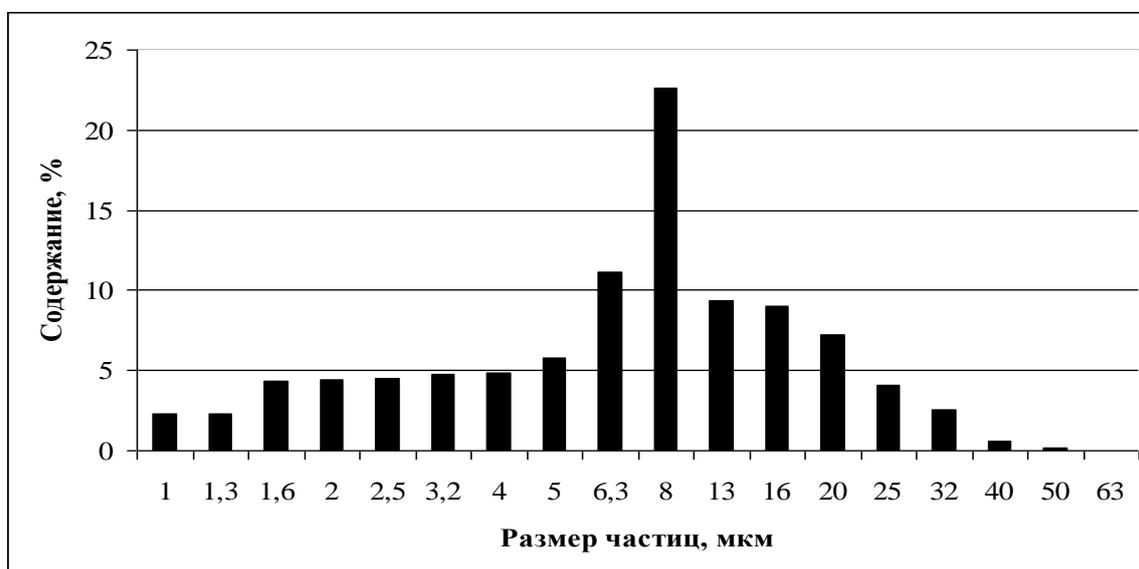
Распределенная на аналитических фильтрах пыль считается по элементарным площадкам, как правило, 1 мм<sup>2</sup> [5]. Для дисперсного анализа на запыленную сторону фильтра накладывается стекло с разметкой 1×1 мм. Затем микроскопируется при увеличении 100× и фо-

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



**Рис. 2.** Микрофотография аналитического фильтра с пробой пыли

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



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

По результатам массового распределения частиц пыли определяют группу дисперсности пыли и выбирают средства очистки воздуха [9].

## 4. СИСТЕМЫ ПЫЛЕУДАЛЕНИЯ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

### 4.1. Системы вентиляции производственных помещений и их классификация

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 воздуховодов – канальные и бесканальные.

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

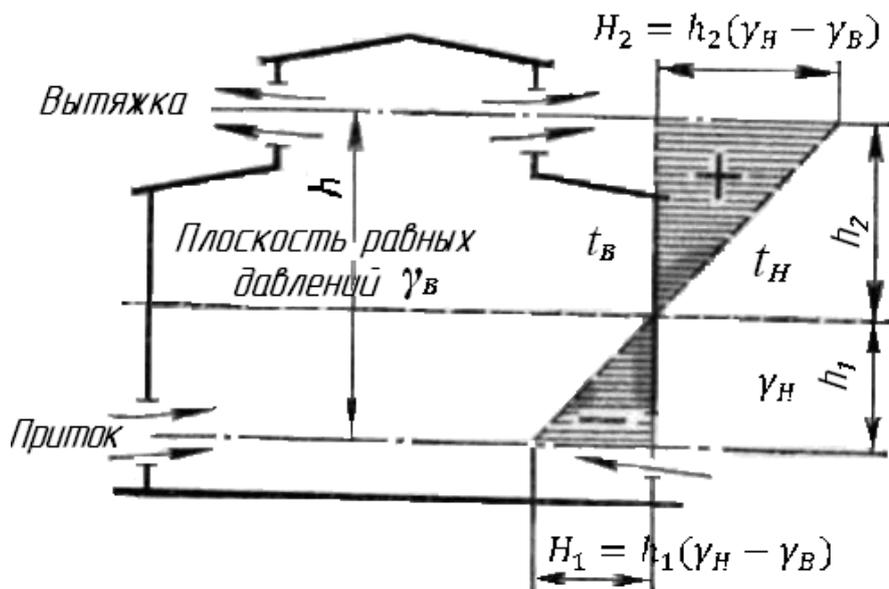
Создание естественной вентиляции происходит из-за воздействия ветрового давления и разности температур и весов воздуха (внутри  $t_в \gamma_в$  и снаружи  $t_н \gamma_н$ ) производственных помещений. На рис. 5 показана схема распределения давления воздуха и разность высот приточного и вытяжного проемов.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

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

Одним из способов обеспечения естественной вентиляции является проветривание помещений, открывая форточки и фрамуги в окнах и световых фонарях (рис. 6). Но воздухообмен в холодный период года допускается не более однократного в час, из-за необходимости не допустить снижения температуры воздуха внутри помещения ниже допустимой, туманообразования и конденсации водяных паров на поверхности стен, покрытий, остекления [11].

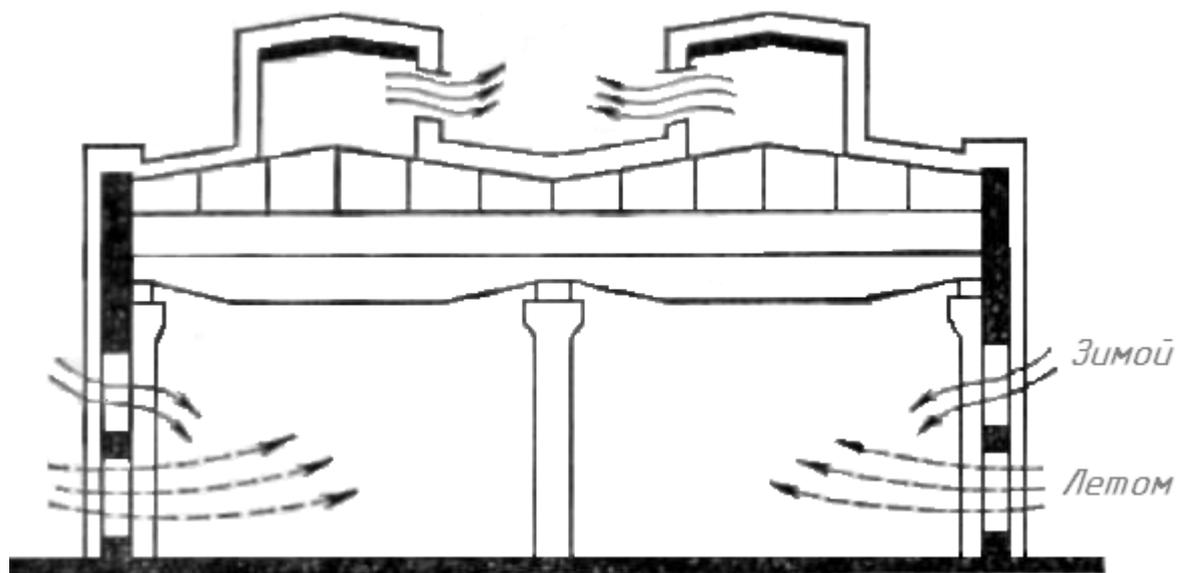


*Рис. 4.* Классификация существующих систем вентиляции



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

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

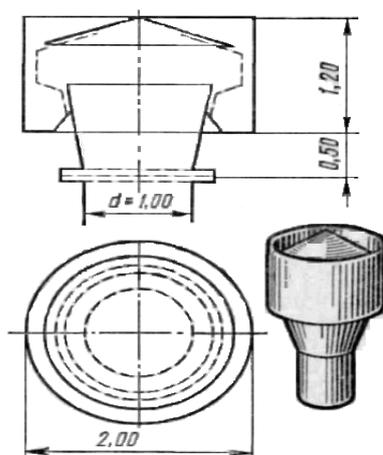


**Рис.6.** Схема поступления и удаления воздуха при аэрации в теплый и холодный периоды года

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

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

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



**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].

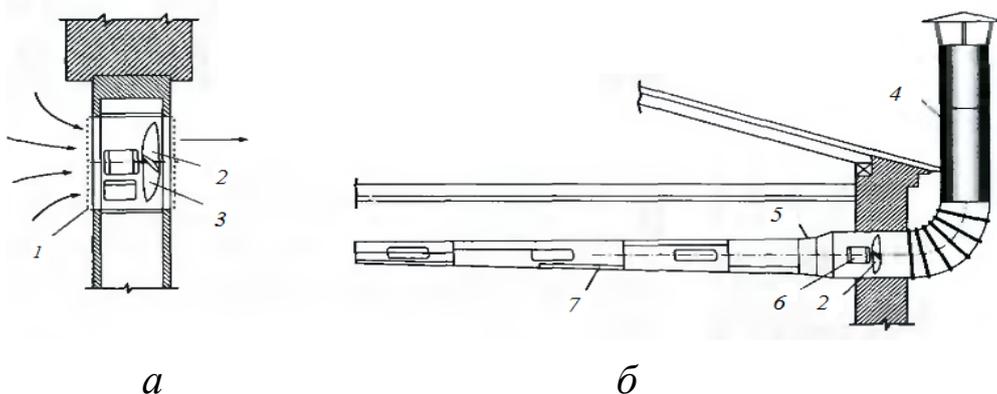
Из-за наличия большого количества выделений тепла, влаги, и особенно вредных газов (паров) и пыли на предприятиях пищевой промышленности к системам естественной вентиляции необходимо добавлять системы искусственной вентиляции для нормализации параметров воздушной среды. Искусственные вентиляционные системы 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 условия труда. При этом главным недостатком искусственной системы вентиляции является потребность в сложном и дорогом оборудовании и большие энергозатраты на работу вентиляции.

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

рудования 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.

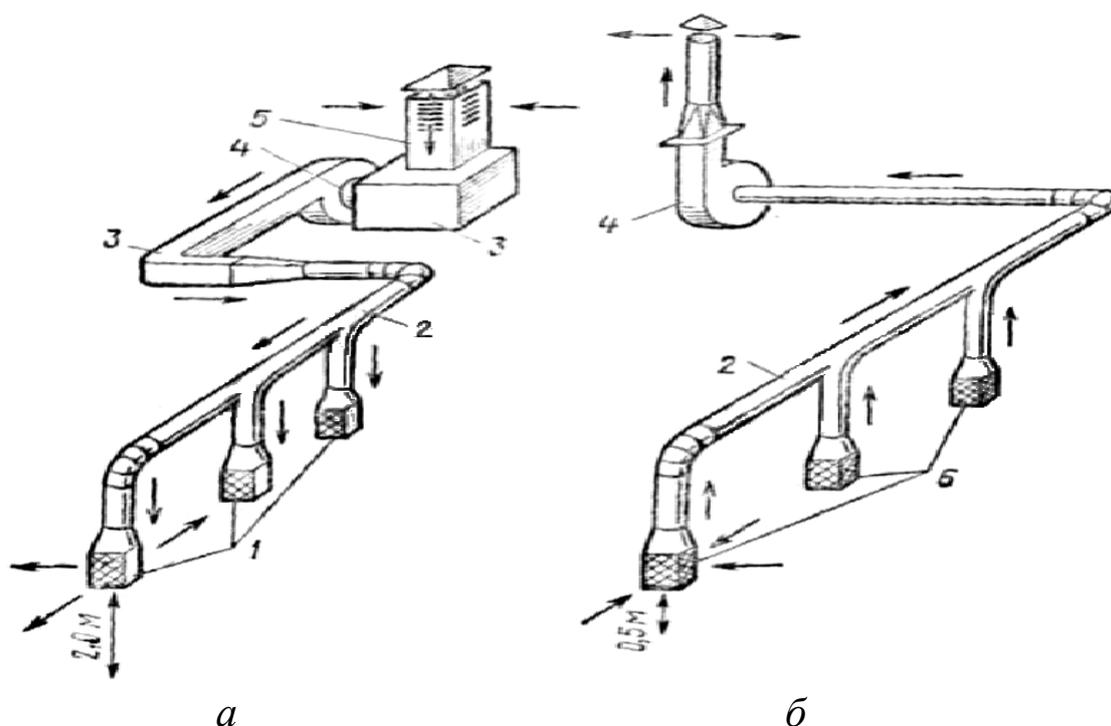
Приточные системы применяют для подачи в помещения чистого воздуха, в результате чего происходит разбавление воздуха помещения, в нем снижается концентрация вредных веществ, стабилизируется температура и влажность воздуха. Но при работе в условиях повышенной концентрации вредных газов (паров) и пылей, 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 условиях наличия в воздухе вредных веществ 1, 2 и 3-го классов опасности, неприятных запахов и болезнетворных микроорганизмов, и возможности значительного увеличения концентрации вредных веществ

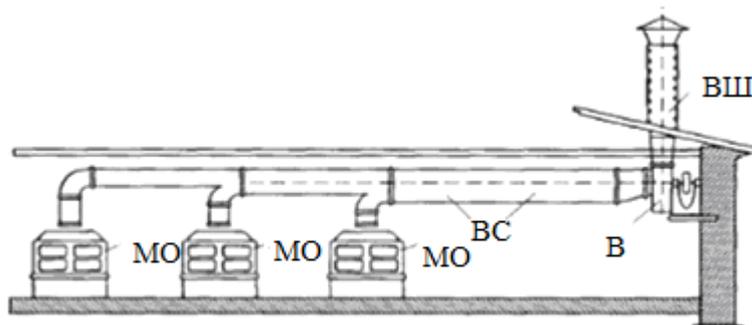


**Рис. 9.** Схемы приточной и вытяжной систем вентиляции:  
*а* – приточная вентиляция, *б* – вытяжная вентиляция;  
*1* – воздухораспределители, *2* – воздуховоды, *3* – калорифер,  
*4* – вентилятор, *5* – воздухозаборная шахта, *б* – воздухоприемники

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

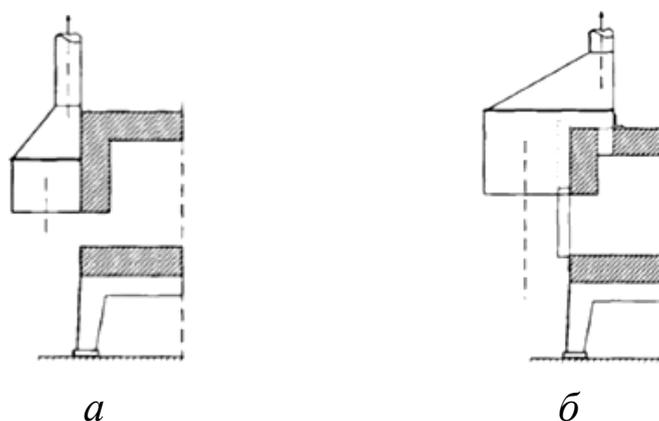
воздушных душей и воздушных оазисов. Разбавление вредных веществ ведет к их распространению по всему помещению.

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



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

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



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

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

К местной вытяжной вентиляции предъявляются следующие требования:

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

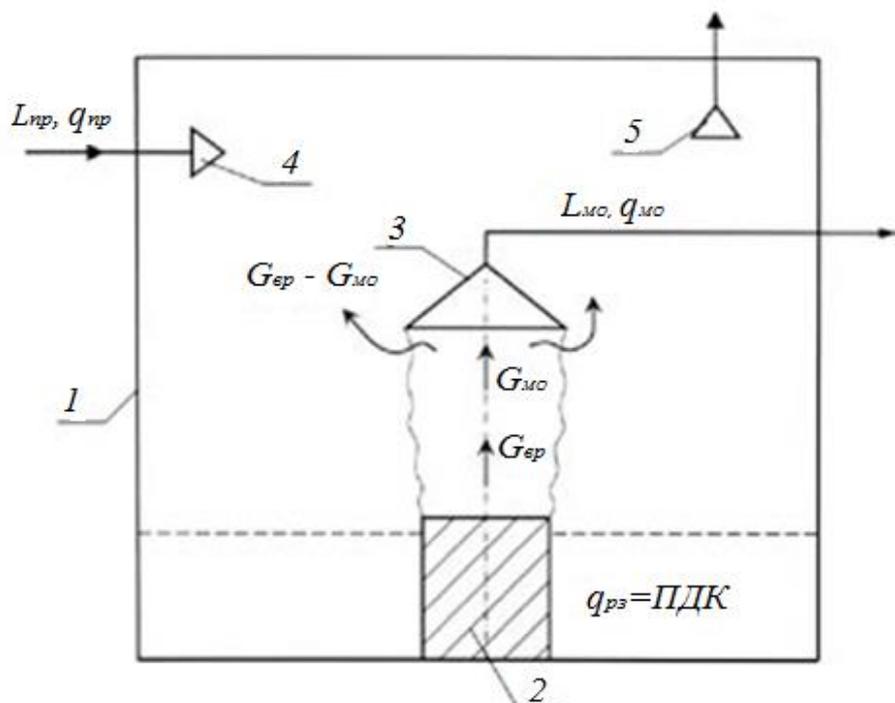
- из-за отсутствия регулирования работы системы вентиляции;
- из-за недостаточной очистки воздуха рабочей зоны при малой мощности электродвигателя вентилятора;
- из-за повышенных энергозатрат на работу системы вентиляции при малых концентрациях вредных веществ в воздушной среде;
- из-за необходимости 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 количе-

стве  $G_{BP}$ , 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> [14].



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

Вредные выделения, не уловленные отсосом, в количестве ( $G_{BP} - G_{MO}$ ) поступают в воздух помещения 1, где разбавляются системой приточной общеобменной вентиляции 4 с расходом  $L_{np}$  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  $q_{yx}$ .

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, по-

сколько стоимость 1 м<sup>3</sup> 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.

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

$$K_{ул} = \frac{G_{МО}}{G_{ВР}}. \quad (2)$$

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.

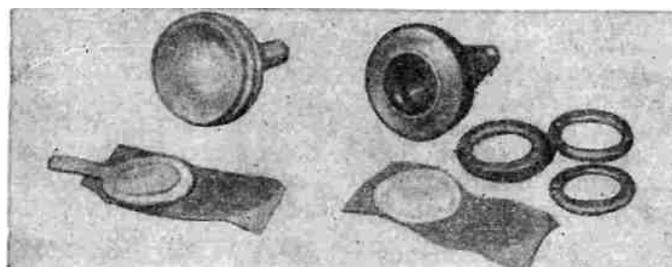
Содержание (концентрацию) пыли в воздухе определяют по ее массе (мг) в единице объема ( $\text{м}^3$ ) – весовой метод и по числу пылинок в  $1 \text{ см}^3$  – счетный метод.

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 прибор, измеряющий концентрацию пыли на рабочих местах за период, не превышающий 5 мин).

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

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



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

Подготовка фильтров к отбору проб. Фильтры выдерживают в условиях комнатной температуры при 30 – 80 % относительной влажности воздуха в течение 40 – 60 мин. Затем необходимое коли-

чество 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.

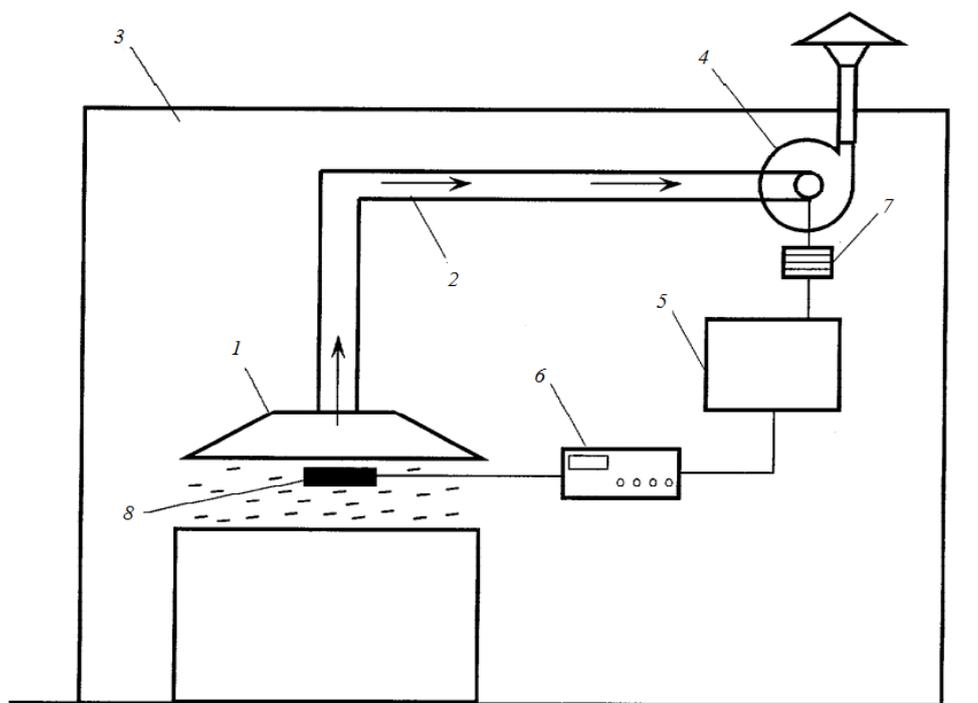
Отбор проб. Воздух со скоростью 25 – 100 л/мин засасывают через фильтр АФА, укрепленный в патроне. Продолжительность отбора пробы зависит от степени запыленности воздуха.

## 5. 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.

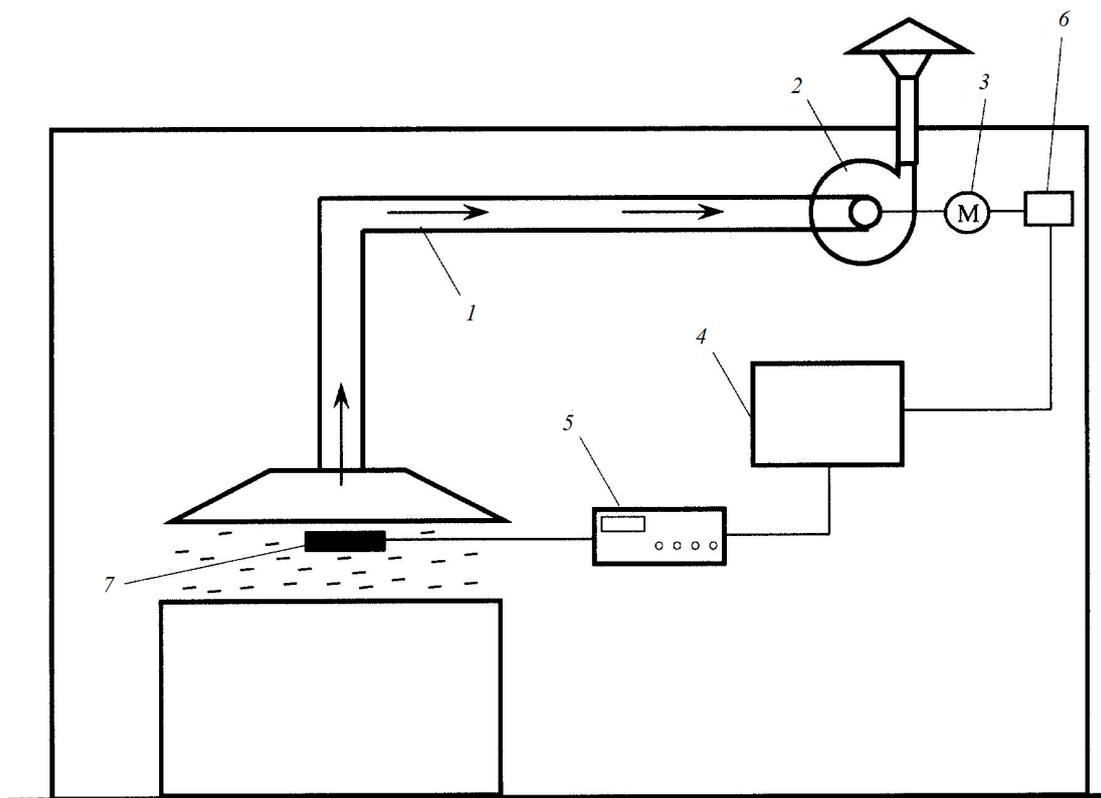
На рис. 14 представлен способ вентиляции промышленного предприятия [12].



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

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

В рамках данного способа существует система вентиляции промышленного предприятия (рис. 15) [12].



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

Система вентиляции работает следующим образом.

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

устанавливается исходя из необходимости достижения заданной концентрации вредных веществ ( $\text{CO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  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 отсуствий в системе блока автоматического регулирования расхода удаляемого воздуха, что может привести к повышению времени реакции системы на изменение параметров воздушной среды;

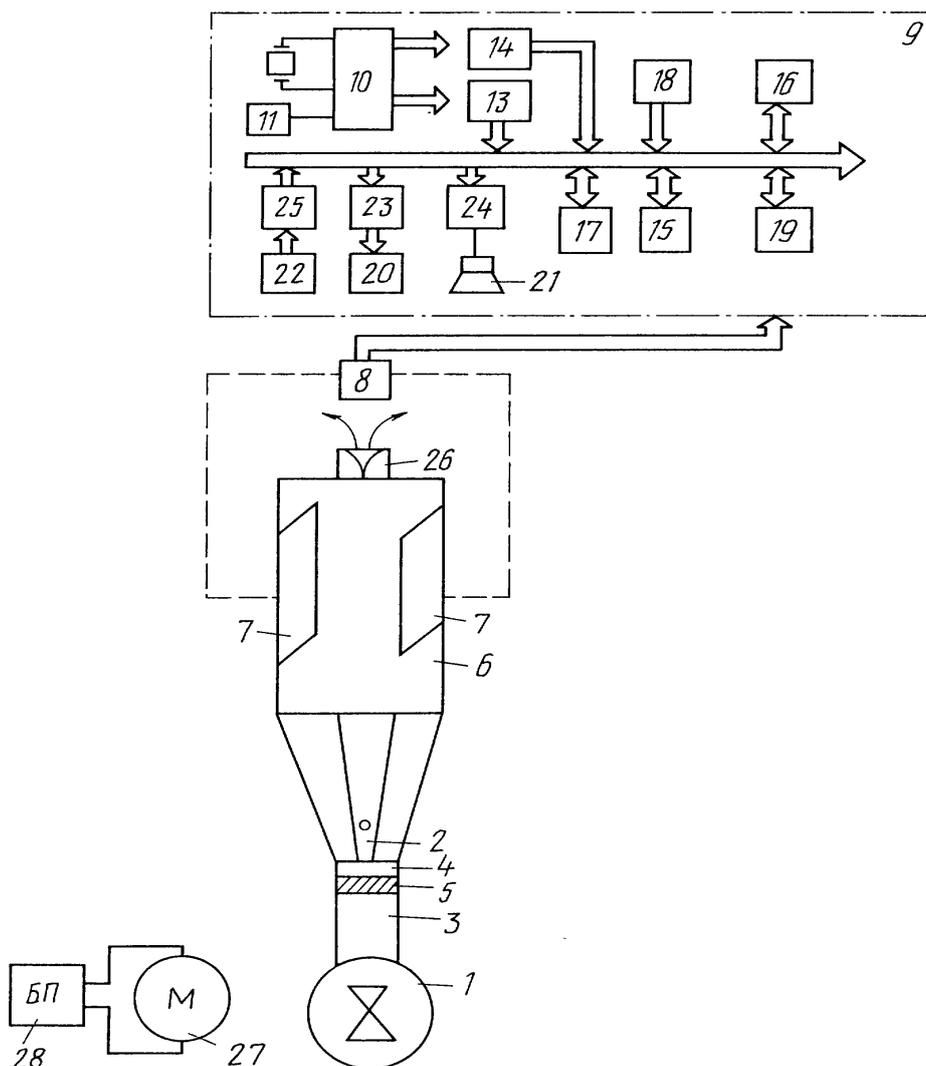
- увеличение напряженности трудового процесса при обслуживании системы вентиляции из-за наличия в системе нескольких различных устройств для регулирования расхода воздуха, что повышает трудоемкость обслуживания;

- 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).

На рис. 16 представлена схема устройства контроля запыленности воздуха [12].



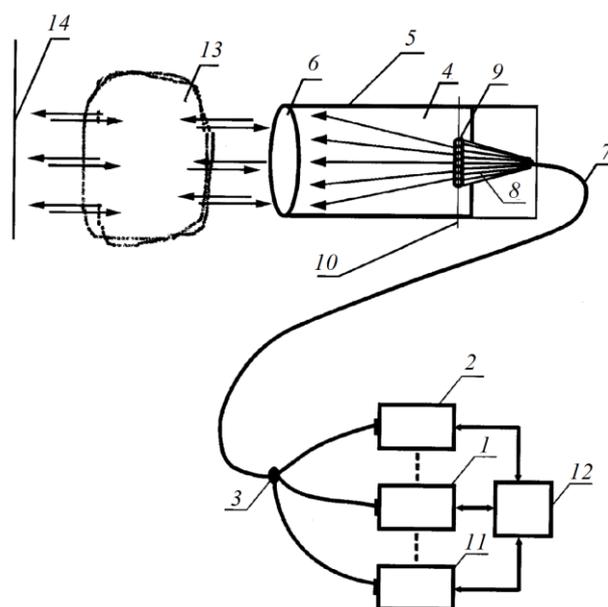
**Рис. 16.** Схема устройства контроля запыленности воздуха:  
 1 – воздуходувка, 2 – ротаметр, 3 – входной патрубок,  
 4 – двухсторонняя задвижка, 5 – фильтр, 6 – камера,  
 7 – чувствительный элемент, 8 – датчик диэлектрической  
 проницаемости среды в виде пластин конденсатора,  
 9 – микропроцессорный 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

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.

Существует устройство оптического контроля производственной атмосферы (рис. 17), 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.

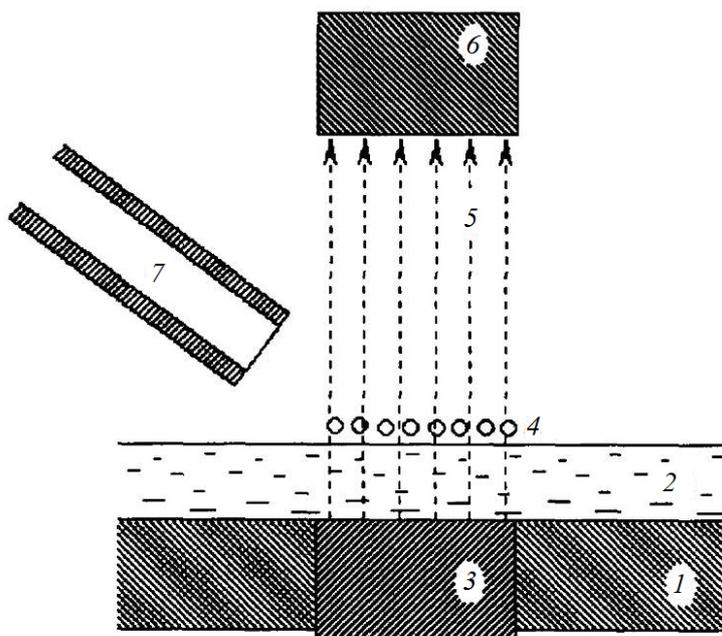


**Рис. 17.** Оптическое устройство контроля производственной атмосферы:

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)

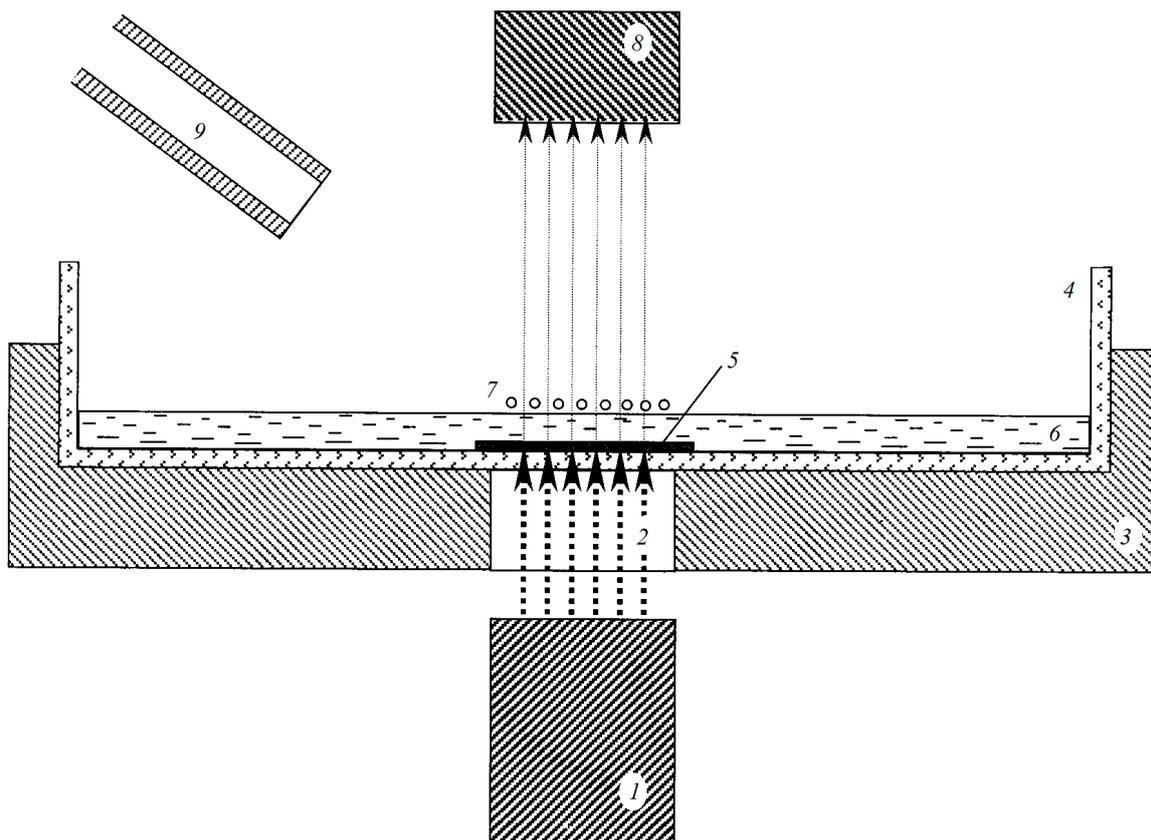
Недостатком данной установки является низкая точность измерения концентрации пыли в воздухе из-за неравномерного движения воздуха в зоне работы устройства, присутствия элементов с малой отражающей способностью (стены производственных зданий), а также возможных помех со стороны рабочего персонала.

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. 18).



**Рис. 18.** 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 применяемого 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. 19).



**Рис. 19.** 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 данных 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.

## **6. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

### **Лабораторная работа № 1**

#### **«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**

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

Лабораторная работа выполняется подгруппой в составе не менее двух человек.

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

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

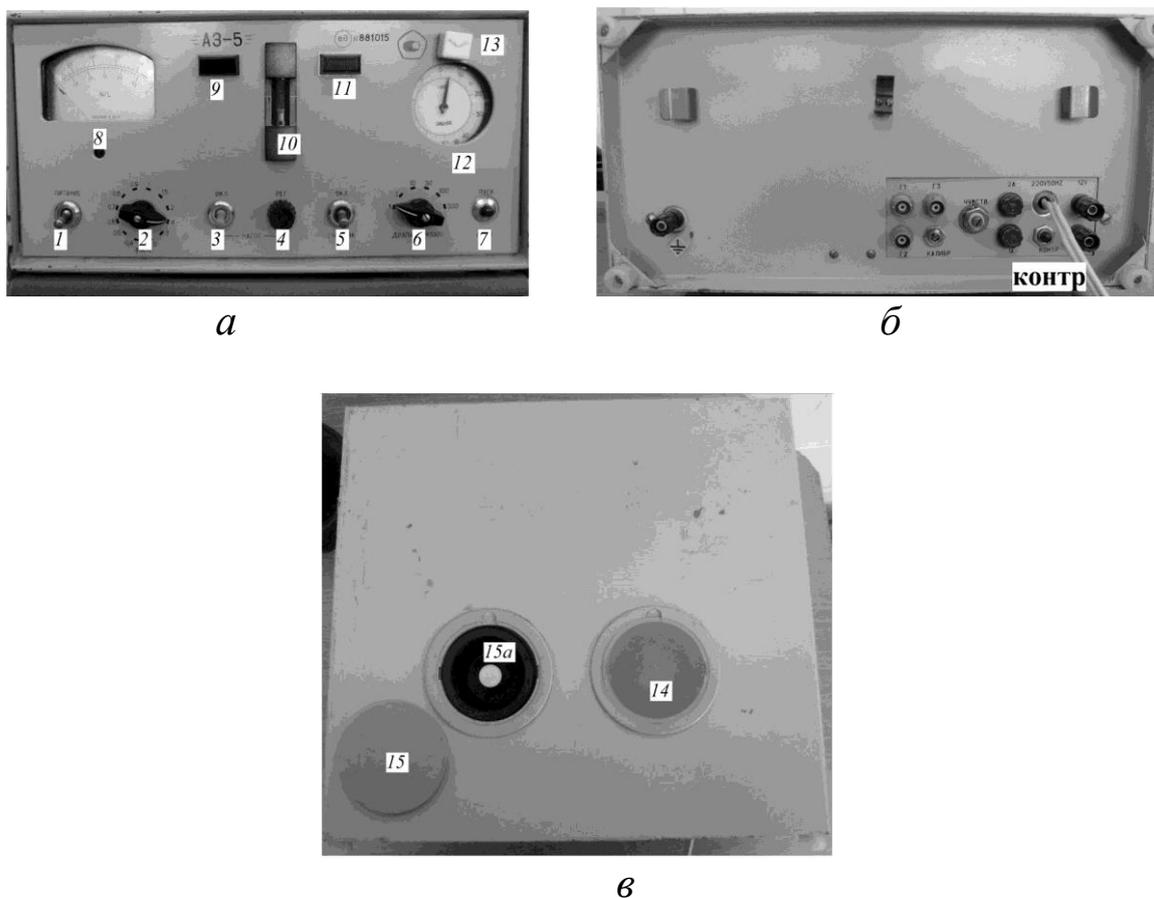
После завершения работ установка выключается и приводится в исходное состояние.

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

В настоящее время для определения дисперсности пыли используют фотоэлектрический счетчик аэрозольных частиц (АЗ-5). С его помощью можно определить количество пылинок в объеме воздуха и степень дисперсности пыли (рис. 20).

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 аэро-

зольных частиц (от 1 до 300 000) в 1 л воздуха и дисперсный состав аэрозольных частиц размером от 0,4 до 10 мкм.



**Рис. 20.** Общий вид счетчика аэрозольных частиц АЗ-5:  
*а* – лицевая панель; *б* – задняя панель; *в* – вид сверху

### 1.5. Порядок выполнения работы

Действия выполняются в следующей последовательности:

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

Перед включением прибора АЗ-5 тумблеры 1, 3, 5 фиксируют в нижнем положении. Тумблер 6 устанавливают в положении 300. Включение прибора осуществляют тумблер 1, при этом загорается индикаторная лампочка 9. В течение 1 мин проводят прогревание прибора. Для проверки источника питания необходимо нажать кноп-

ку «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.

Примеры счета частиц приведены ниже.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Результаты эксперимента

Размер частиц равный и бо- лее, мкм	Диапа- зон	Диапазон переключе- ния	Показа- ния шкалы	Концентрация по показаниям шкалы, частиц/л	Концентра- ция частиц, частиц/л	Концентра- ция, ча- стиц/м <sup>3</sup>	Доля ча- стиц, %
Помещение (зона) 1							
0,4							
0,5							
1,0							
5,0							
Помещение (зона) 2							
0,4							
0,5							
1,0							
5,0							
Помещение (зона) 3							
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>							

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 испытываемого 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. 3).

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. Г.

### **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.

## Лабораторная работа № 2

### «Определение дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны методом микроскопирования»

#### 2.1. Цель работы

Определить дисперсный состав пыли методом микроскопирования.

#### 2.2. Приборы и оборудование

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

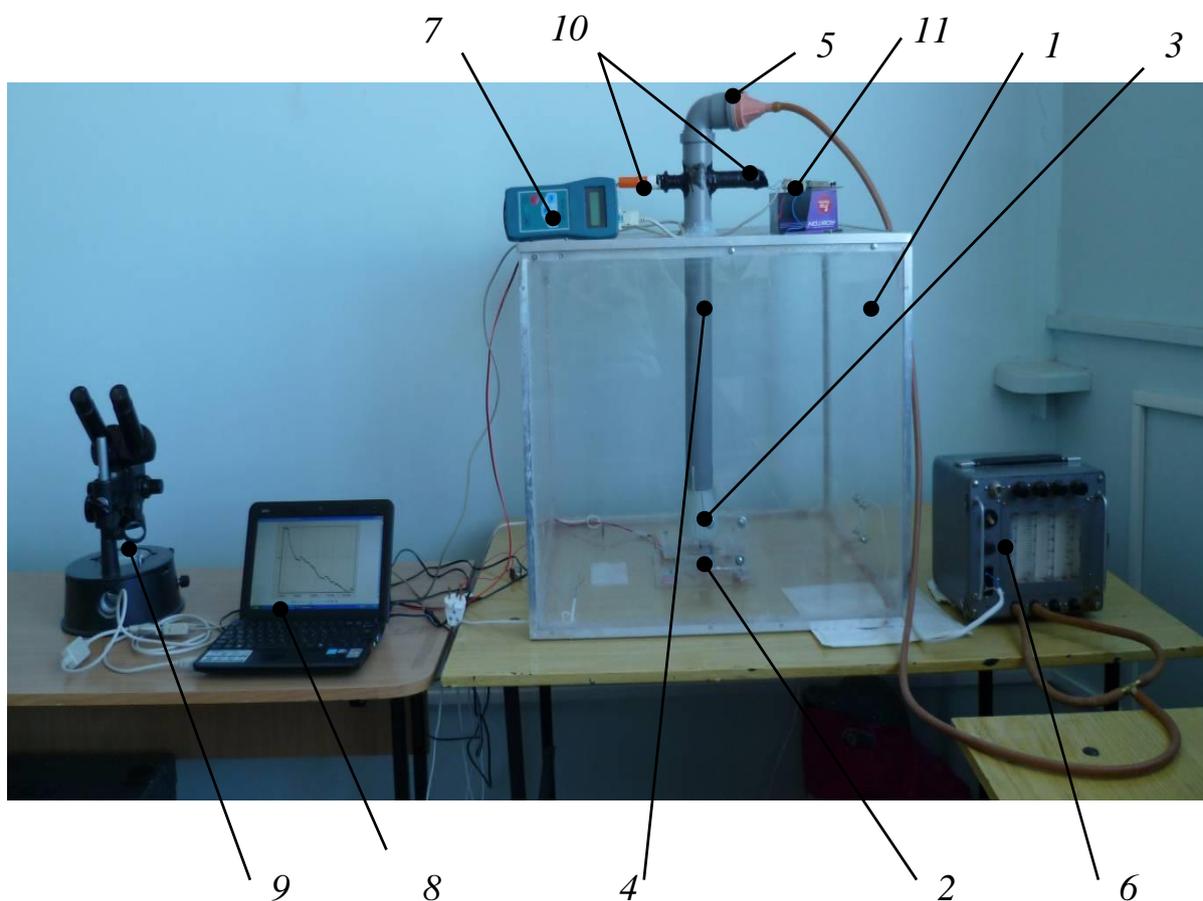
#### 2.3. Меры безопасности

Смотри п.1.3 в лабораторной работе № 1

#### 2.4. Описание используемого оборудования

На рис. 21 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. Микроскопирование пыли осуществляется с помощью микроскопа 9 с цифровым фотоаппаратом.



**Рис. 21.** Лабораторная пылевая камера:

1 – пылевая камера, 2 – вибрационный столик, 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 aspirатора отключить его, вынуть фильтр и снова взвесить его на аналитических весах. Рассчитать концентрацию пыли  $C$  и результаты занести в табл. 4:

$$C=1000 \cdot (m_1 - m_0) \frac{T_1 \cdot P_0 \cdot 60}{L \cdot T_0 \cdot P_1 \cdot t}, \text{ мг/м}^3, \quad (4)$$

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 aspiratorу, л/мин;

$T_0$  – температура воздуха при нормальных условиях,  $T_0=273^\circ\text{К}$ ;

$P_1$  – атмосферное давление, кПа;

$t$  – время забора воздуха, мин.

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. 5.

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

$$\eta_i = 100\% \cdot \frac{n_i}{\sum n_i} \quad (5)$$

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

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

$\Sigma n_i$  – 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 (6):

$$\Delta_i = 100\% \cdot \frac{\rho \cdot (d_{i+1} + d_i)^3 \cdot n_i}{\Sigma \rho \cdot (d_{i+1} + d_i)^3 \cdot n_i}, \quad (6)$$

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. 2 и 3;
- графическую зависимость (гистограмму) распределения частиц от их размера;

Таблица 4

## 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 5

## 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. Г.

### **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.

## Лабораторная работа № 3

### «Определение эффективности пылеудаления местной вытяжной вентиляции гравиметрическим методом»

#### 3.1. Цель работы

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

#### 3.2. Приборы и оборудование

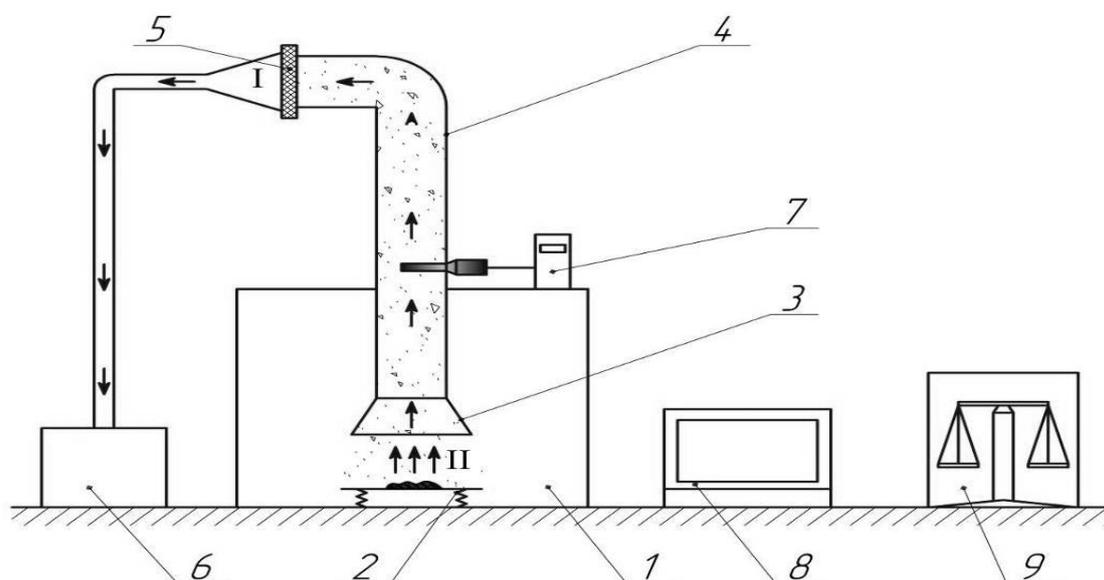
Лабораторная пылевая камера, аналитические фильтры АФА-10-ВП, аналитические весы, метеометр.

#### 3.3. Меры безопасности

Смотри п. 1.3 в лабораторной работе № 1.

#### 3.4. Описание используемого оборудования

На рис. 22 представлена схема лабораторной пылевой камеры.



**Рис. 22.** 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

Экспериментальная установка состоит из пылевой камеры 1, в крышке имеются отверстия для стабилизации давления воздуха в камере, вибрационный столик (вибростолик) 2 для имитации местного пылевыведения 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. ПЭВМ 8 предназначен для обработки результатов эксперимента.

### **3.5. Порядок выполнения работы**

Действия выполняются в следующей последовательности:

1. Ознакомиться с теоретическими положениями.
2. Изучить способы определения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны.
3. Изучить устройство экспериментальной установки.
4. Определить эффективность вытяжного устройства согласно следующей последовательности:
  - а) подготовить по три навески массой  $M=5$  г исследуемых образцов (мука, крахмал или пищевые концентраты красной свеклы) согласно заданию;
  - б) подготовить аналитические фильтры (взвесить аналитические фильтры  $m_0$ , положить в удерживающие кольца и герметичные пакеты);
  - в) установить расход воздуха по аспиратору с помощью ротаметров (40, 35 или 30 л/мин);
  - г) внести одну навеску одного из образцов в пылевую камеру на 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 минуту после включения аспиратора включить вибростолик на 3 минуты;
  - е) после забора пробы воздуха вынуть фильтр из аллонжа и взвесить. 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 (4);

Таблица 6

## 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 7

## Результаты расчетов

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

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

Повторить при различных расходах воздуха и продуктах.

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

6. Построить графические зависимости эффективности пылеудаления от расхода воздуха.

7. Оформить отчет по лабораторной работе в соответствии с прил. Г.

### **3.6. Контрольные вопросы**

1. Классификация вентиляционных систем

2. Параметры оценки работы местной вытяжной вентиляции

3. Устройство лабораторной установки

4. Методы контроля содержания пыли в воздухе

5. Особенности гравиметрического метода контроля содержания пыли в воздухе.

## Лабораторная работа № 4

### «Оптические методы контроля содержания пыли в воздухе»

#### 4.1. Цель работы

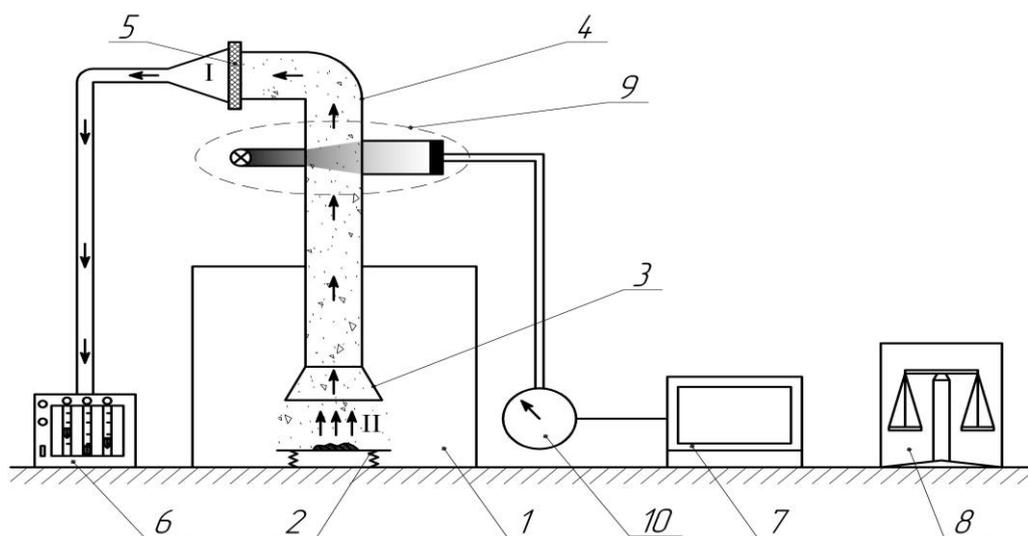
Определение содержания пыли в воздухе с помощью оптических методов контроля.

#### 4.2. Приборы и оборудование

Лабораторная пылевая камера с оптическими датчиками контроля, ПЭВМ, aspirator, аналитические весы, хронометр.

#### 4.3. Описание лабораторной установки

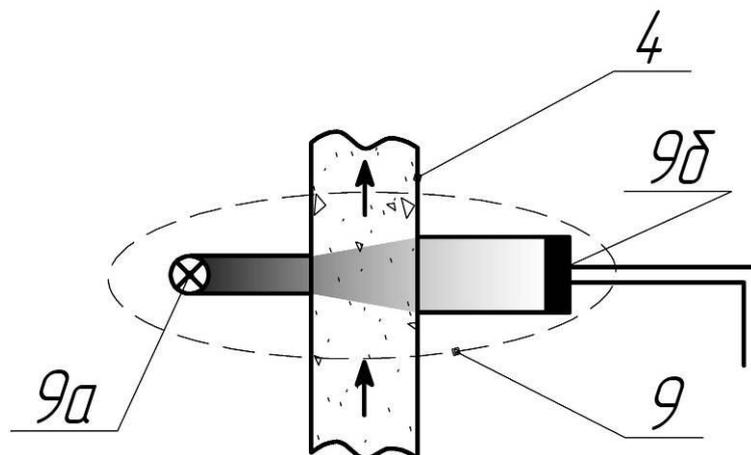
Лабораторная установка (рис. 23) для определения запыленности воздуха оптическими методами состоит из пылевой камеры 1, размещенного в ней вибрационного столика 2, вытяжного устройства 3, воздуховода 4 для отсоса запыленного воздуха из камеры, аллонжа с аналитическим фильтром 5, aspirатора 6, ПЭВМ 7, аналитических весов 8, оптического датчика концентрации пыли 9 и вторичного преобразователя 10.



**Рис. 23.** Схема лабораторной пылевой камеры:

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

На рис. 24 представлен узел оптического датчика, в основу которого положен абсорбционный метод. Датчик включает в себя излучатель 9а и приемник 9б.



**Рис. 24.** Оптическая схема работы оптического датчика 9а – излучатель, 9б – приемник оптического датчика концентрации пыли

#### 4.4. Порядок выполнения работы

Действия выполняются в следующей последовательности:

1. Изучить методы контроля и измерения содержания пыли в воздухе.
2. Изучить устройство лабораторной установки.
3. Определить значения оптической плотности и концентрацию пыли для одной навески по следующей последовательности:
  - а) подготовить исследуемую навеску (крахмал, свекла или другой материал): взвесить, внести в камеру на вибростол, закрыть герметично пылевую камеру;
  - б) установить излучатель (светодиод) в оптический канал
  - в) подключить оптический датчик к ПЭВМ, запустить программу приема и обработки сигнала;
  - г) вставить аналитический фильтр в аллонж;
  - д) произвести забор пробы воздуха (в течение 5 мин), для этого:
    - включить аспиратор;
    - включить вибростол (через 35 сек);
    - выключить вибростол (через 3 мин 35 сек);
    - выключить аспиратор (через 5 мин);
  - е) повторить забор пробы воздуха через 1 мин после выключения аспиратора (повторить дважды), а затем через минуту выключить оптический датчик, сохранить значения и остановить программу;

ж) обработать результаты измерений, для этого определить среднее значение оптической плотности  $D_{cp}$  по следующей формуле и занести в таблицу 8:

$$D_{cp} = \lg \frac{I_{CP0}}{I_{CPK}}, \quad (7)$$

где  $I_{CP0}$  – средняя интенсивность светового потока при нулевой концентрации (показания оптического датчика при выключенном аспираторе);

$I_{CPK}$  – средняя интенсивность светового потока в условиях работы с пылью (показания оптического датчика при включенном аспираторе).

Повторить порядок действий пункта 3 для второй навески. Вести хронометраж действий, после каждой серии из трех заборов проб воздуха чистить камеру

4. Построить графические зависимости оптической плотности от концентрации.

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

Таблица 8

Результаты экспериментальных значений

№	Средняя интенсивность светового потока при нулевой концентрации $I_{CP0}$	Средняя интенсивность светового потока в условиях работы с пылью $I_{CPK}$	Оптическая плотность $D_{cp}$	Концентрация пыли по весовому методу, мг/м <sup>3</sup>
Навеска № 1				
1				
2				
3				
Навеска № 2				
4				
5				
6				

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

#### **4.5. Контрольные вопросы**

1. Методы определения концентрации пыли.
2. Преимущества оптических методов контроля концентрации пыли перед методами с предварительным осаждением пыли.
3. Устройство лабораторной установки для определения концентрации пыли.
4. Схема работы оптического датчика.
5. Как осуществляется градуировка оптического датчика?
6. Зависимость оптической плотности от уровня запыленности воздуха.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чистые помещения. Проблемы. Теория. Практика [Текст] / Под ред. А.Е. Федотова. – М.: АСИНКОМ, 2003. – 576 с.
2. ГОСТ Р ИСО 14644-1-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды [Текст]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 17 с.
3. Клименко, А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли [Текст] / А.П. Клименко. – М.: Химия, 1978. – 208 с.
4. Фукс Н.А. Механика аэрозолей [Текст] / Н.А. Фукс. – М.: АН СССР, 1955. – 352 с.
5. Методика определения дисперсного состава сыпучего материала и аэрозоли в научных исследованиях и учебном процессе / Е.М. Агашков, Т.И. Белова, В.И. Гаврищук и др. // Научно-педагогические проблемы транспортных учебных заведений. – М.: МИИТ, 2011. – Выпуск 3. – С. 11 – 16.
6. Штокман, Е.А. Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности [Текст] / Е.А. Штокман. – М.: Пищевая промышленность, 1989. – 304 с.
7. Коузов, П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов [Текст] / А.П. Коузов. – М.: Химия, 1971. – 279 с.
8. Инструкция по проведению анализа дисперсного состава пыли седиментационным методом в жидкой среде [Текст]. – Л.: ВНИИОТ, 1965. – 52 с.
9. ГОСТ 12.2.043-80 Оборудование пылеулавливающее. Классификация [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, 1981. – 10 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. Классификация систем автоматического удаления вредных веществ из воздуха производственного помещения / Е.М. Агашков, Т.И. Белова, В.Е. Бурак и др. // Вестник МАНЭБ. – СПб, 2010. – Т.15, № 4. – С. 116 – 118.
13. 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. Кра-

вченко // Научно-педагогические проблемы транспортных учебных заведений: материалы международной научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2010. – Выпуск 2. – С.11 – 14.

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

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

## Определение группы дисперсности пыли

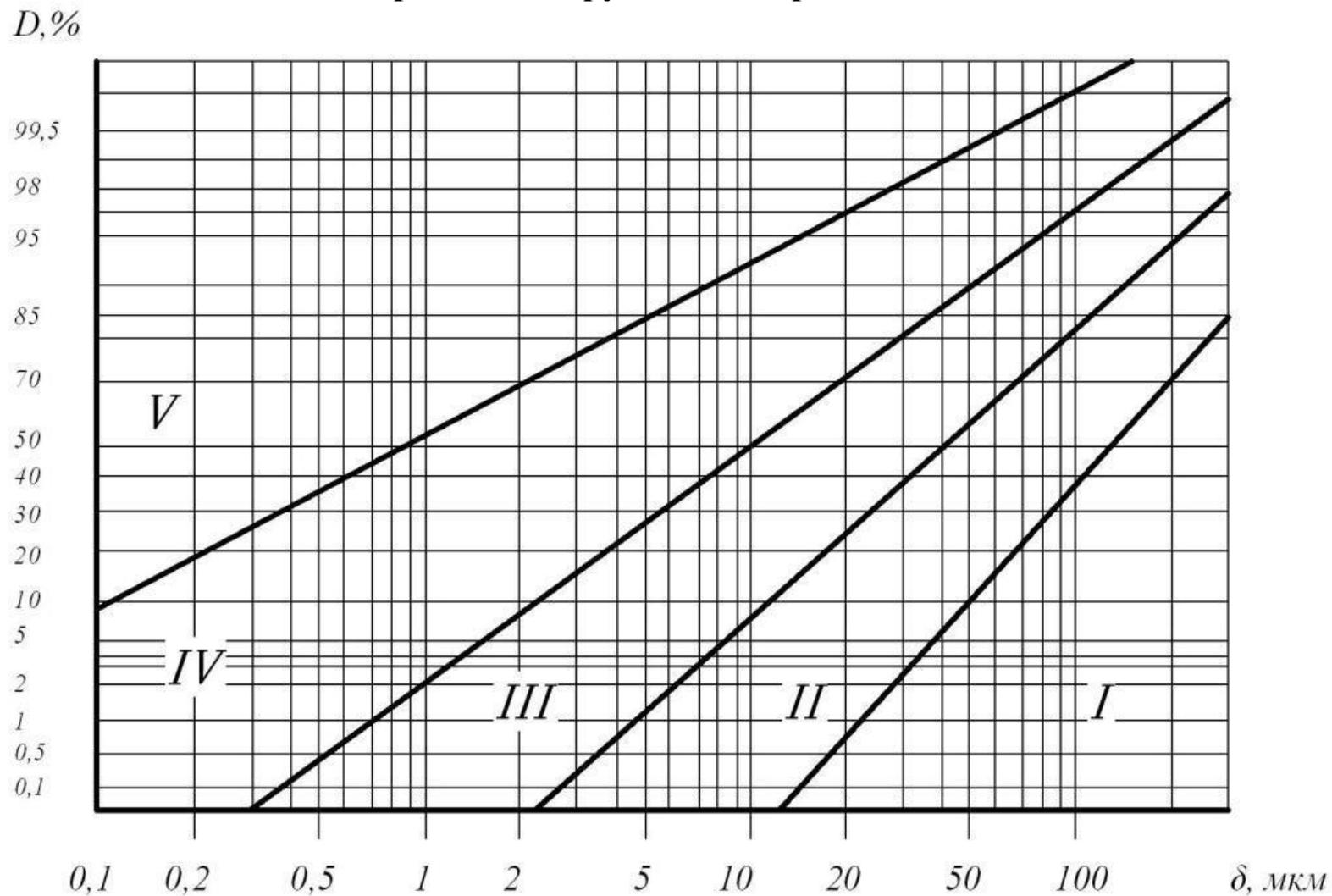


Рис. А.1. Номограмма для определения группы дисперсности пыли

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
(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 Б1*

**Классификация пылеуловителей**

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(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 В1*

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 Г**  
(обязательное)  
**Форма отчета по лабораторной работе**

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

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»

Кафедра «Охрана труда и окружающей среды»

Отчет по лабораторной работе № \_\_\_\_\_

Название работы \_\_\_\_\_

Ф.И.О. \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

Цель работы \_\_\_\_\_

Краткий ответ на указанный в описании вопрос.

Выполнение рисунка или схемы (при необходимости).

Оформление таблиц с выполнением в них теоретических и экспериментальных данных.

Выполнение расчетов, построение графических зависимостей.

Подпись студента \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

Учебное издание

*Белова Татьяна Ивановна  
Гаврищук Владимир Иванович  
Агашков Евгений Михайлович  
Санников Дмитрий Петрович*

**СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ.  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЫЛЕУДАЛЕНИЯ  
ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ**

Лабораторный практикум

Редактор В.Л. Сверчкова  
Технический редактор

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

Подписано к печати      Формат 60×90 1/16.

Усл. печ. л.      . Тираж      экз.

Заказ №

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