

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Т.И. Белова, Е.М. Агашков, А.Г. Шушпанов

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕДНЫХ И  
ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ**

Учебное пособие  
для самостоятельной работы обучающихся  
по направлениям подготовки  
20.03.01 Техносферная безопасность и  
20.06.01 Техносферная безопасность

Брянская область  
2018

УДК 658.041.7 (076)

ББК 68.9

Б 43

Методы и средства исследования вредных и опасных производственных факторов: учебное пособие для самостоятельной работы обучающихся по направлениям подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность и 20.06.01 Техносферная безопасность / Т.И. Белова, Е.М. Агашков., Шушпанов А.Г. - Брянск: Издательство Брянского ГАУ, 2018. - 116 с.

Учебное пособие включает теоретические и методические подходы к исследованию негативных факторов производственной и окружающей среды, основанные на существующих научных исследованиях и многолетних исследований авторов и предназначено для выполнения самостоятельных работ для обучающихся по направлениям подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность и 20.06.01 Техносферная безопасность

Рецензент: к. т. н., доцент кафедры систем энергообеспечения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный аграрный университет» *О.Е. Широбокова*

*Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института, протокол №7 от 21 марта 2018 г.*

© Брянский ГАУ, 2018

© Белова Т. И., 2018

© Агашков Е.М., 2018

© Шушпанов А.Г., 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1. Методы определения запыленности удаляемого воздуха .....	7
2. Методы дисперсного анализа пыли .....	11
2.1. Основные методы дисперсного анализа пыли .....	11
2.2. Метод микроскопирования пыли .....	12
3. Поддержание чистоты воздуха производственных помещений в определенных пределах.....	15
3.1. Термины и определения.....	15
3.2. Примеры применения чистых помещений.....	17
3.3. Методика определения класса чистоты помещения.....	18
3.4. Методика проверки чистоты воздуха заданным требованиям.....	21
4. Оценка эффективности систем пылеудаления.....	23
4.1. Системы вентиляции производственных помещений и их классификация.....	23
4.2. Оценка эффективности местных отсосов.....	32
4.3. Методика определения концентрации пыли в воздухе гравиметрическим методом.....	34
5. Средства пылеочистки удаляемого воздуха.....	37
5.1. Классификация оборудования, применяемого для очистки воздуха.....	37
5.2. Сухие механические пылеуловители.....	38
5.3. Мокрые пылеуловители.....	40
6. Системы контроля параметров воздушной среды.....	48
7. Исследование химического состава воздуха производственного помещения.....	59
7.1. Методы отбора проб воздуха для химического анализа.....	59
7.2. Методы анализа проб воздуха.....	62
7.3. Фотоколориметрический метод определения загрязненности воздуха.....	63
7.4. Методы определения концентраций вредных веществ в воздухе производственных помещений.....	67
7.4.1. Экспресс методы определения концентрации вредных веществ в воздухе производственных помещений.....	67
7.4.2. Автоматические методы определения концентрации вредных веществ в воздухе производственных помещений.....	68
8. Воздействие электромагнитных полей на человека .....	69
8.1. Основные типы электромагнитных волн.....	69
8.2. Тепловое излучение. Определение, нормирование, защита.....	72
8.2.1. Биологическое действие теплового излучения на человека ...	72
8.2.2. Нормирование теплового излучения и способы защиты от него.....	74
8.3. Лазерное излучение. Особенности воздействия на человека .....	76
8.3.1. Основные характеристики лазерного излучения и	

особенности воздействия на человека.....	77
8.3.2. Классификация лазеров по степени опасности.....	80
8.3.3. Защитные мероприятия при эксплуатации лазерных установок.....	81
8.4.    Электромагнитное излучение радиочастотного диапазона.....	83
8.4.1 Биологическое воздействие ЭМИ радиочастотного диапазона.....	83
8.4.2. Нормирование ЭМП радиочастотного диапазона.....	86
9. Шумовое загрязнение окружающей среды.....	89
9.1. Влияние шума на окружающую среду и человека .....	89
9.2. Защитные мероприятия от воздействия повышенных уровней шума.....	92
10. Вибрационное воздействие на человека и окружающую среду.....	95
10.1. Негативное воздействие вибраций на человека и окружающую среду.....	95
10.2. Методы и средства защиты от вибраций .....	97
Литература.....	103
Приложение А. Характеристики систем пылеочистки .....	107
Приложение Б. Определение группы дисперсности пыли .....	109
Приложение В. Классификация пылеуловителей.....	110
Приложение Г. Подразделение пылеуловителей по нижнему пределу размеров частиц пыли .....	111
Приложение Д. Предельно допустимые значения уровней электромагнитных полей радиочастотного диапазона .....	112
Приложение Е. Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука и шума на территории жилой застройки.....	113
Приложение Ж. Допустимые значения вибрации .....	116

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящее пособие предназначено для проведения самостоятельной работы с целью подготовки к проведению экспериментальных исследований в области повышения безопасности и снижения загрязнения производственной и окружающей среды, в котором приведены основные понятия о влияющих факторах, их нормировании, методах и средствах защиты.

Учебное пособие может быть использован для выполнения самостоятельных работ с целью реализации компетенций по соответствующим учебным планам и дисциплинам для направления подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность (профиль Пожарная безопасность; профиль Безопасность технологических процессов и производств) по дисциплинам «Специальная оценка условий труда», «Организация работы по охране труда», «Надзор и контроль в сфере безопасности»; для направления подготовки 20.06.01 Техносферная безопасность по дисциплине «Охрана труда».

# 1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ УДАЛЯЕМОГО ВОЗДУХА

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

К первой группе методов относятся:

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

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

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

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

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

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

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

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

Ко второй группе методов относятся:

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

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

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

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

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

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

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

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

- *Пьезоэлектрический метод* может быть использован для измерения счетной концентрации частиц пыли путем суммирования электрических импульсов, возникающих при соударении частиц с пьезокристаллом.

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

### **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.

## **2. МЕТОДЫ ДИСПЕРСНОГО АНАЛИЗА ПЫЛИ**

### **2.1. Основные методы дисперсного анализа пыли**

Одним из основных параметров пыли является дисперсный состав, при помощи которого можно рассчитать скорость движения воздуха в зоне вытяж-

ных 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, 4].

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 – 6].

*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.

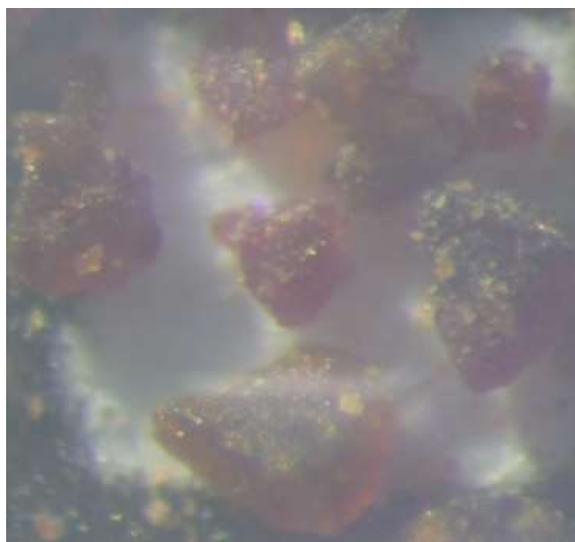
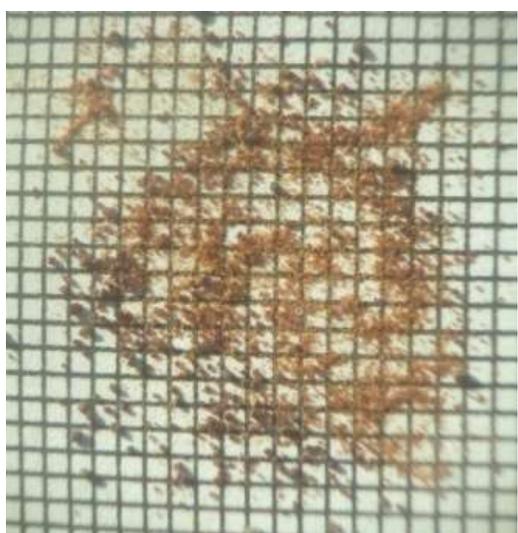
На выбор метода для анализа влияет вид пыли, требуемая точность, наличие соответствующего оборудования и другие факторы.

## **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, 4, 7]. Метод микроскопирования при визуальном анализе является трудоемким, поэтому для уменьшения затрат времени и напряжения внимания используются цифровой фотоаппарат и компьютерные программы [3 – 5].

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.

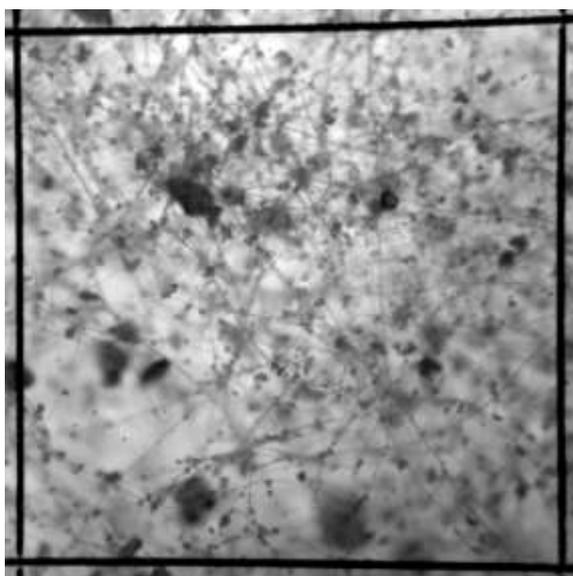


*a*

*б*

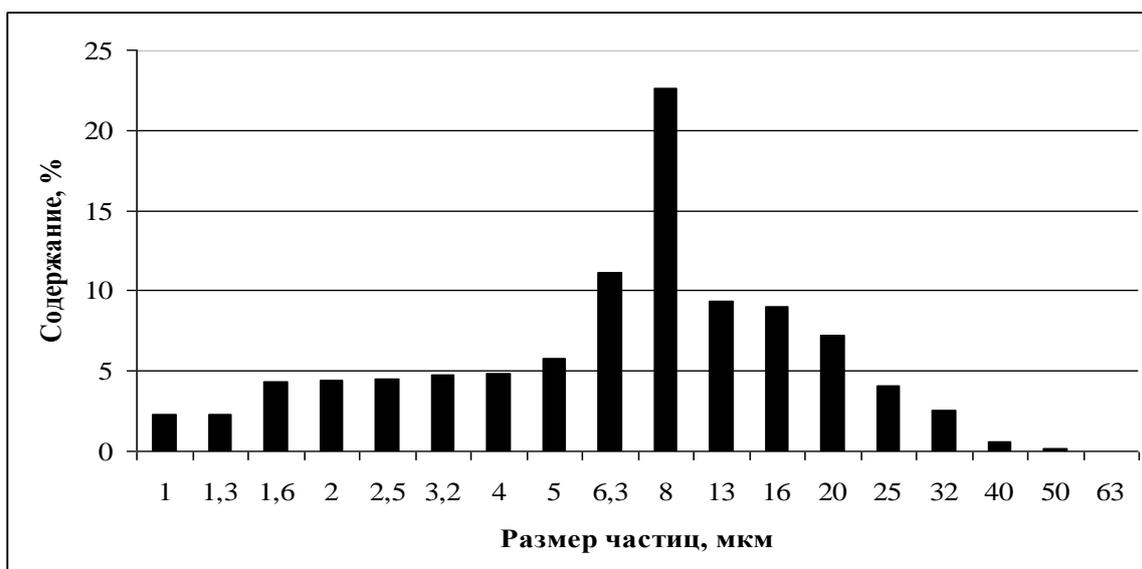
**Рис. 1.** Микрофотографии пыли: *a* – общий вид осажденной пыли на поверхности при увеличении 4,8×; *б* – при увеличении 56× одной из областей

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 [8].

### **Контрольные вопросы.**

1. Как классифицируются частицы пыли, содержащиеся в воздухе?
2. Оптические методы контроля концентрации частиц в воздухе.
3. Как устроен и на чем основан принцип работы фотоэлектрического счетчика аэрозольных частиц АЗ-5?
4. Какие системы обеспечивают необходимую очистку воздуха?
5. Влияние размера частиц пыли на организм работающих.
6. Методы дисперсного анализа пыли.
7. Микроскопический метод анализа пыли.
8. Лабораторная установка по определению пылевого состава воздуха.
9. Определение количественного распределения частиц по размеру.
10. Определение распределения частиц по массе.
11. Использование результатов дисперсного анализа пыли при выборе воздухоочистительного оборудования.

### 3. 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 [9].

#### 3.1 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 [9].

*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 [10].

*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. 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) [9].

*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						+
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. Методика определения класса чистоты помещения

При определении класса чистоты указывается состояние чистых помещений – «построенное», «оснащенное» или «эксплуатируемое» [10]. 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:

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 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.

### 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 [10].

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 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.

#### **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.

## **4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПЫЛЕУДАЛЕНИЯ**

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

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

Если классически (рис. 4) рассматривать системы вентиляции, то все они подразделяются по способу инициирования движения воздуха на естественные (организованные и неорганизованные) и искусственные [11]. 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.

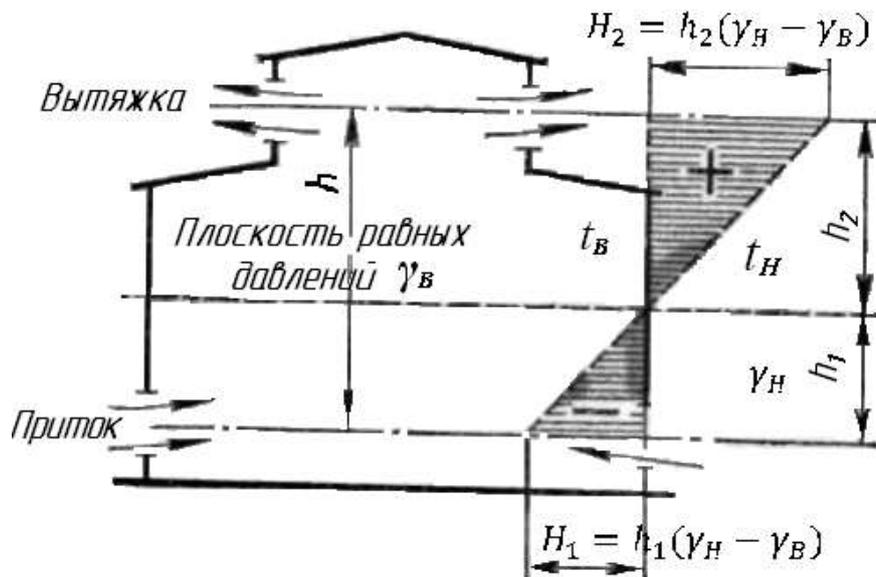
Создание естественной вентиляции происходит из-за воздействия ветрового давления и разности температур и весов воздуха (внутри  $t_{вг}$  и снаружи  $t_{нг}$ ) производственных помещений. На рис. 5 показана схема распределения давления воздуха и разность высот приточного и вытяжного проемов. При естественной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

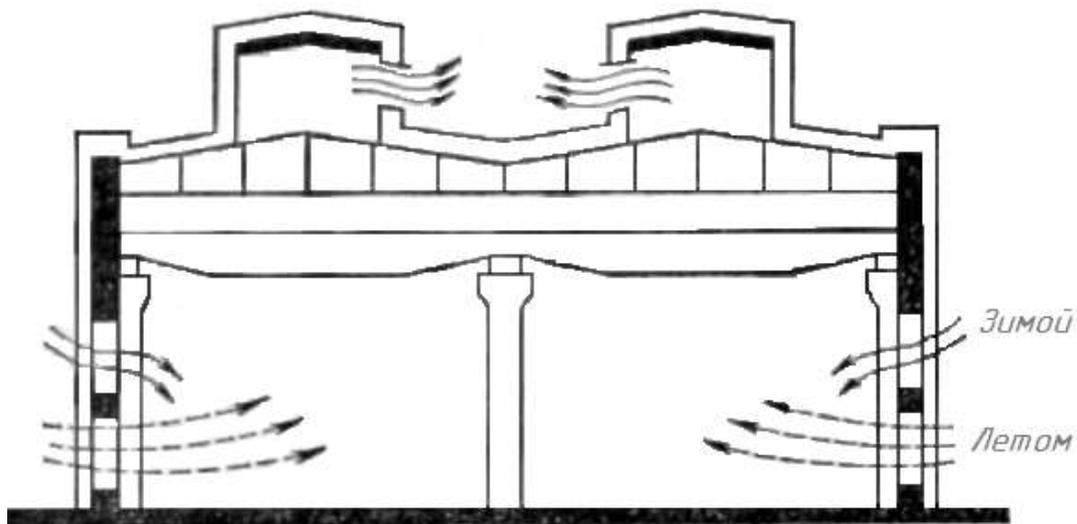
Одним из способов обеспечения естественной вентиляции является проветривание помещений, открывая форточки и фрамуги в окнах и световых фонарях (рис. 6). Но воздухообмен в холодный период года допускается не более однократного в час, из-за необходимости не допустить снижения температуры воздуха внутри помещения ниже допустимой, туманообразования и конденсации водяных паров на поверхности стен, покрытий, остекления [12].



**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.

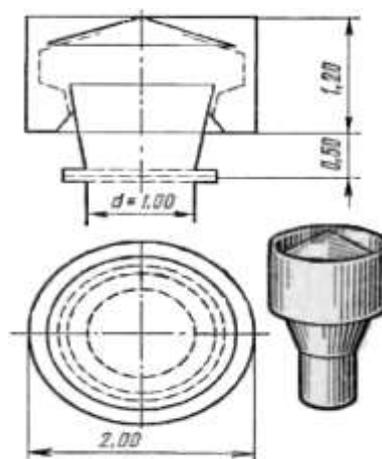
Окна в стенах и фонарях на крышах оборудуются механизмами, обеспечивающими их открывание с пола и регулируют в зависимости от направления и силы ветра воздухообмен в необходимых объемах. Надежное действие аэрации можно обеспечить только при частом открывании и закрывании окон (фрамуг), что требует повышенной надежности и хорошей конструкции механизмов 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 [11 – 14].

Недостатки систем естественной вентиляции:

- зависимость от условий внешней среды;
- небольшое создаваемое давление;
- отсутствие возможности подготовки подаваемого воздуха (подогрев, очистка, увлажнение) в производственное помещение [11 – 14].

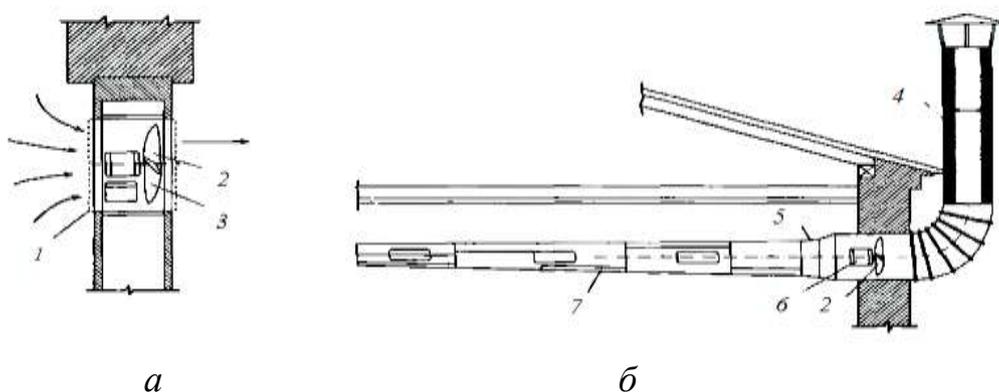
Из-за наличия большого количества выделений тепла, влаги, и особенно вредных газов (паров) и пыли на предприятиях пищевой промышленности к системам естественной вентиляции необходимо добавлять системы искусственной вентиляции для нормализации параметров воздушной среды. Искусственные вентиляционные системы 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 [11 – 14].

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 каналные и бесканальные (рис. 8) [11].

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 [12–14].



**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.

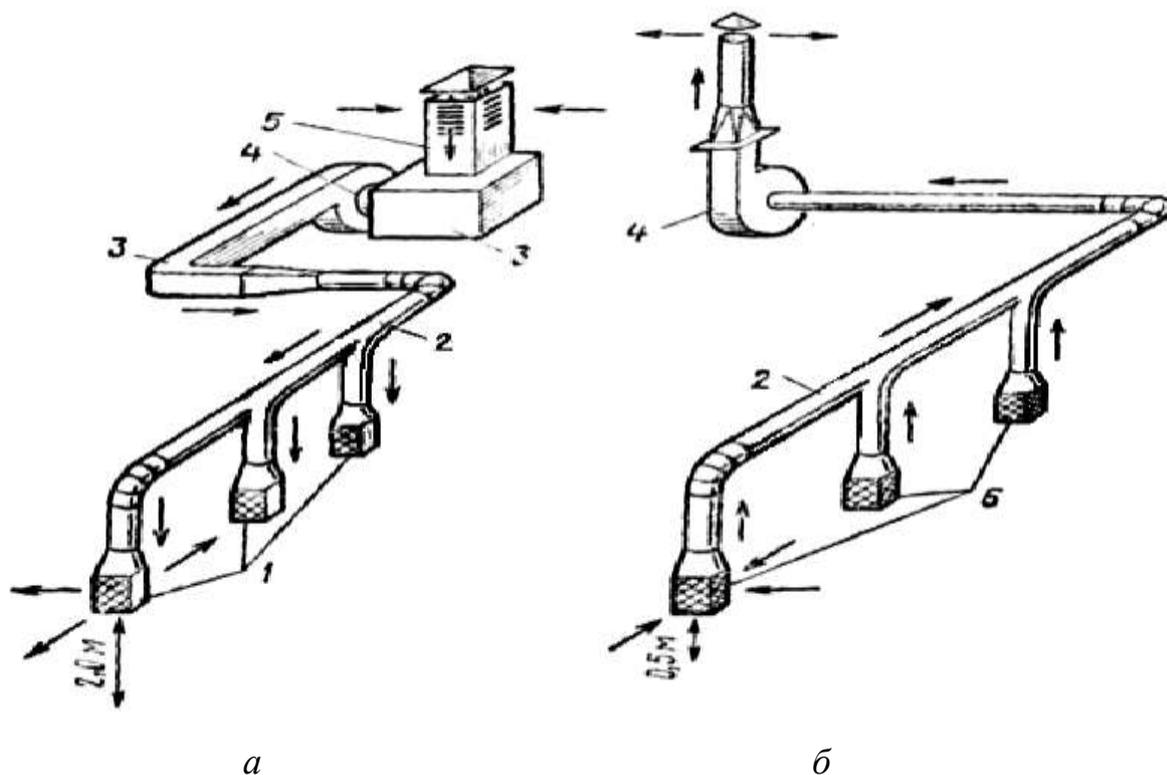
Вытяжная вентиляция необходима для удаления загрязненного и отработанного воздуха из помещения.

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 [12].

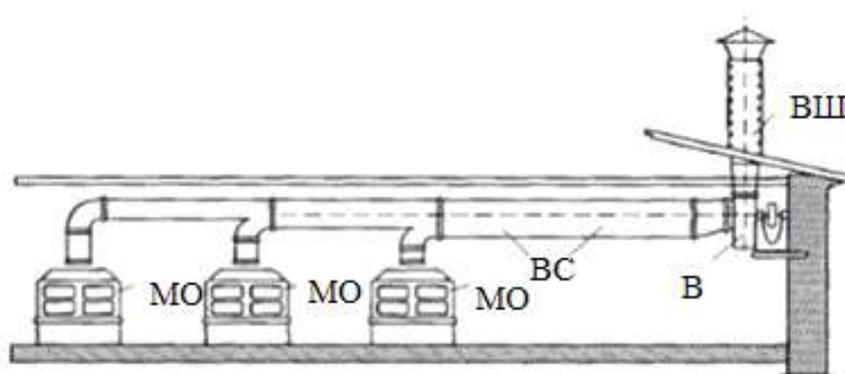
Применение рециркуляционных систем нежелательно в условия наличия в воздухе вредных веществ 1, 2 и 3-го классов опасности, неприятных запахов и болезнетворных микроорганизмов, и возможности значительного увеличения концентрации вредных веществ.

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.



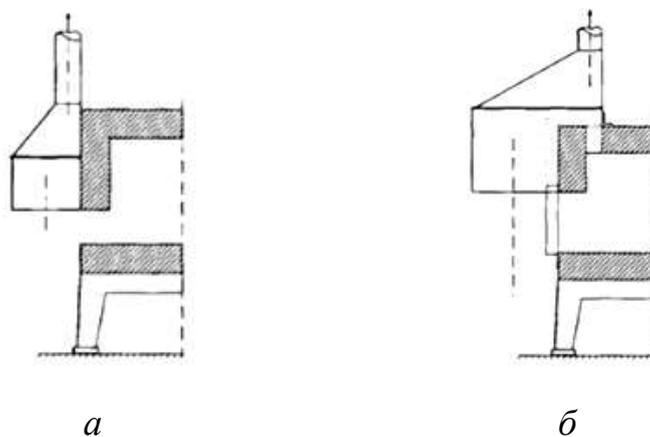
**Рис. 9.** Схемы приточной и вытяжной систем вентиляции: *а* – приточная вентиляция, *б* – вытяжная вентиляция; 1 – воздухораспределители, 2 – воздуховоды, 3 – калорифер, 4 – вентилятор, 5 – воздухозаборная шахта, 6 – воздухоприемники

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) [12].

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 [11, 13].

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

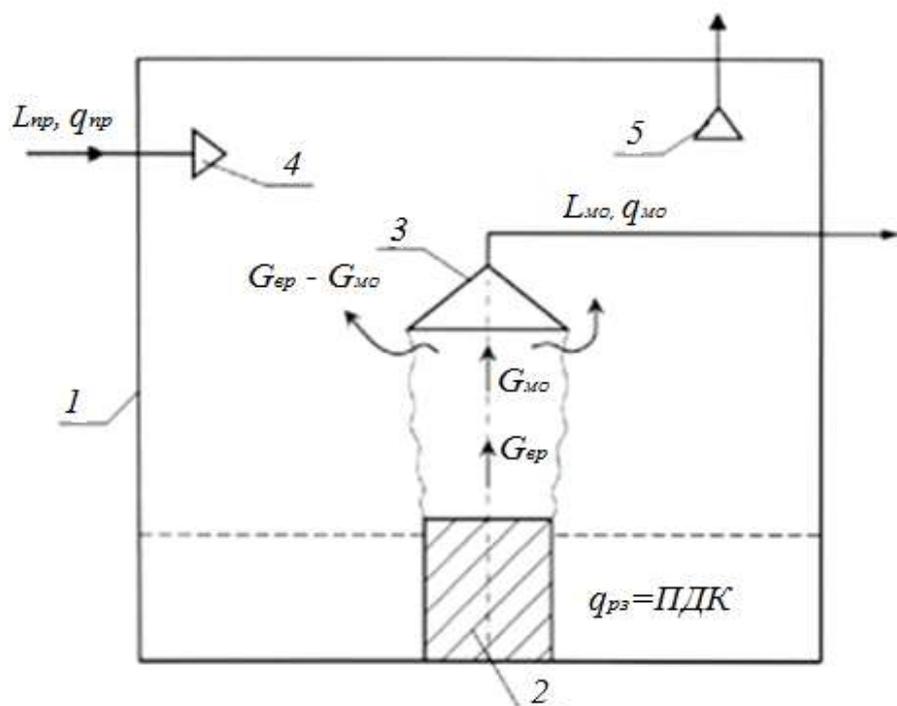
- из-за отсутствия регулирования работы системы вентиляции;
- из-за недостаточной очистки воздуха рабочей зоны при малой мощности электродвигателя вентилятора;
- из-за повышенных энергозатрат на работу системы вентиляции при малых концентрациях вредных веществ в воздушной среде;
- из-за необходимости при проектировании производить точные расчеты с учетом концентрации вредных веществ и параметров микроклимата, уровней шума и вибрации [13, 14].

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> [14].

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 [14].

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.

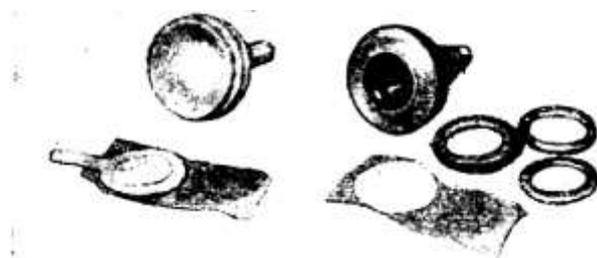
Содержание (концентрацию) пыли в воздухе определяют по ее массе (мг) в единице объема ( $м^3$ ) – весовой метод и по числу пылинок в  $1 см^3$  – счетный метод.

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

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

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

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



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

Подготовка фильтров к отбору проб. Фильтры выдерживают в условиях комнатной температуры при 30 – 80 % относительной влажности воздуха в те-

чение 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.

### **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

## **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 [8]. Остальное оборудование называют вспомогательным – средства для удаления и транспортировки уловленного продукта, растворооборотные и раствороприготовительные устройства, средства контроля и автоматизации.

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

По назначению различают:

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

– *пылеуловители* – оборудование, используемое для очистки выбросов от взвешенных веществ.

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

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

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

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

Классификация пылеуловителей по дисперсности очищаемой пыли приведена в табл. 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 (одиночные, групповые и батарейные циклоны, вихревые и динамические пылеуловители).

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

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

Система улавливания частиц путем придания запыленному потоку закрученного или вращательного движения, ограниченного цилиндрическими стенками, в которой частицы осаждаются 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 применяется реже в виду худших характеристик улавливания.

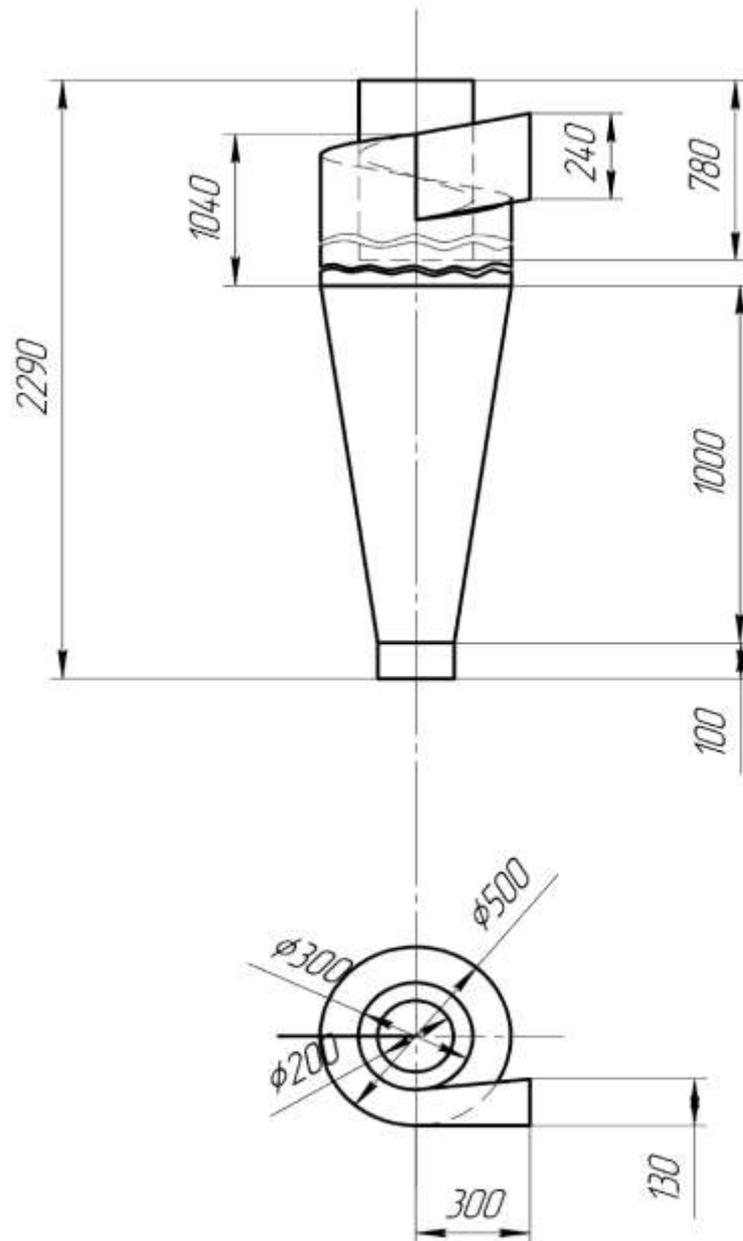
В России и СНГ для циклонов принят стандартизированный ряд внутренних диаметров D: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600,

1800, 2000, 2400 и 3000 мм. Для всех одиночных циклонов бункеры выполняются цилиндрическими с коническим днищем. Диаметр бункера принимают  $1,5D$  для цилиндрических и  $1,1-1,2D$  для конических циклонов. Высота цилиндрической части бункера принимается  $0,8D$ , угол конусности стенок днища –  $60^\circ$ .

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 [5].

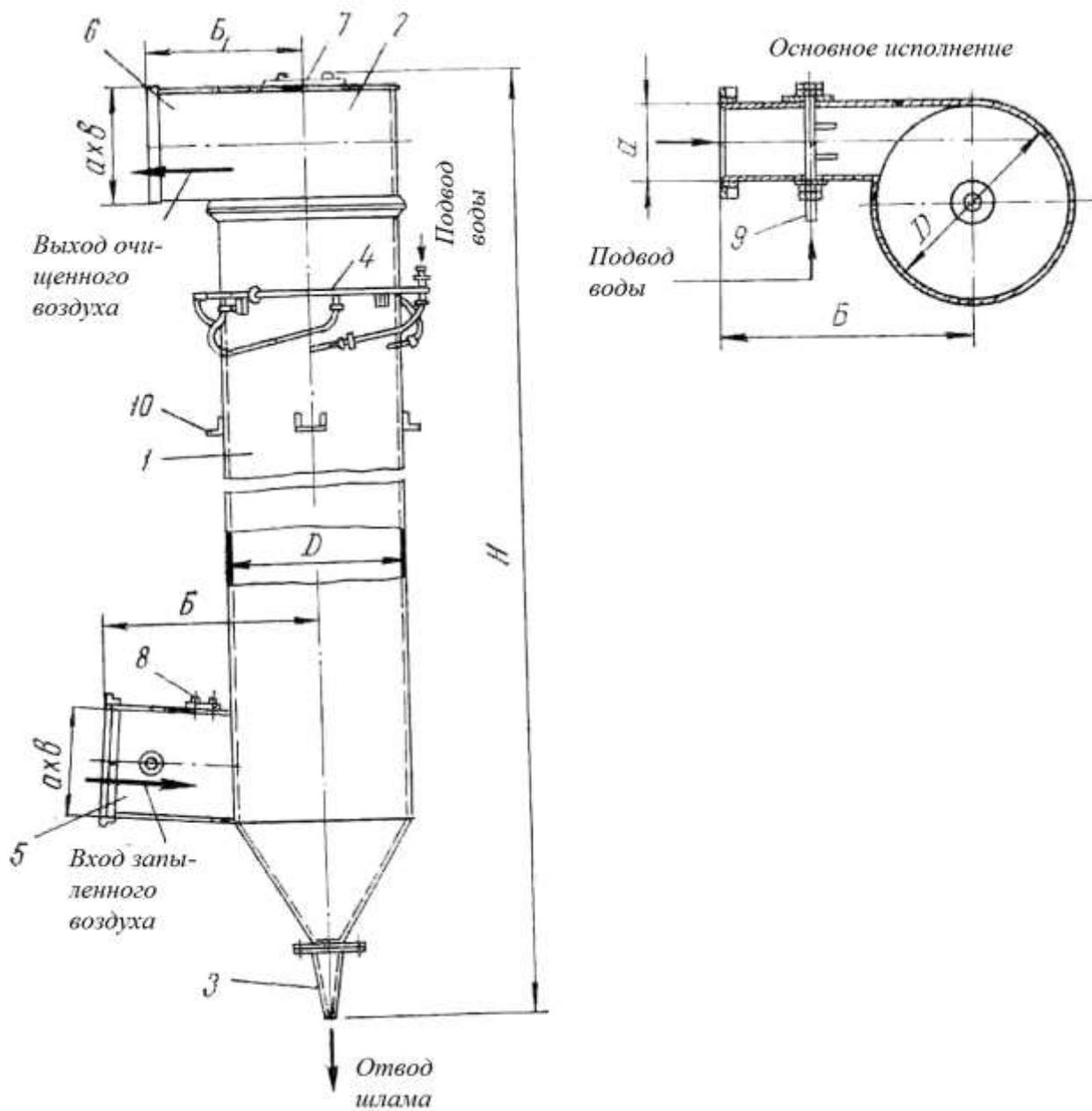
Циклоны ЦВП используются для очистки вентиляционных выбросов от любых видов нецементирующейся пыли, в том числе пыли известняка, а также пыли, содержащей волокнистые включения.

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 %.

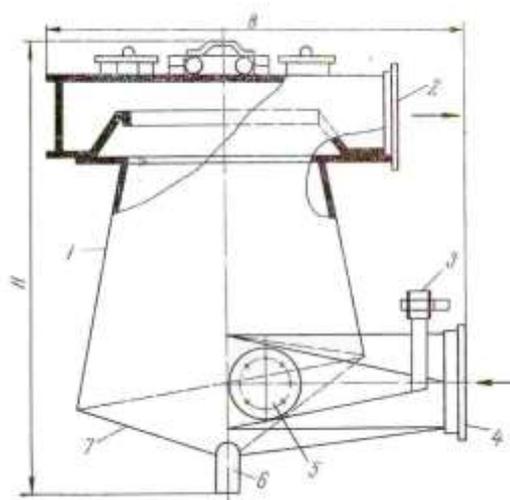
Предусматриваются следующие исполнения циклона ЦВП в зависимости от скорости входа воздуха в циклон: основное и с повышенной скоростью.

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.



**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

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 [5].



**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

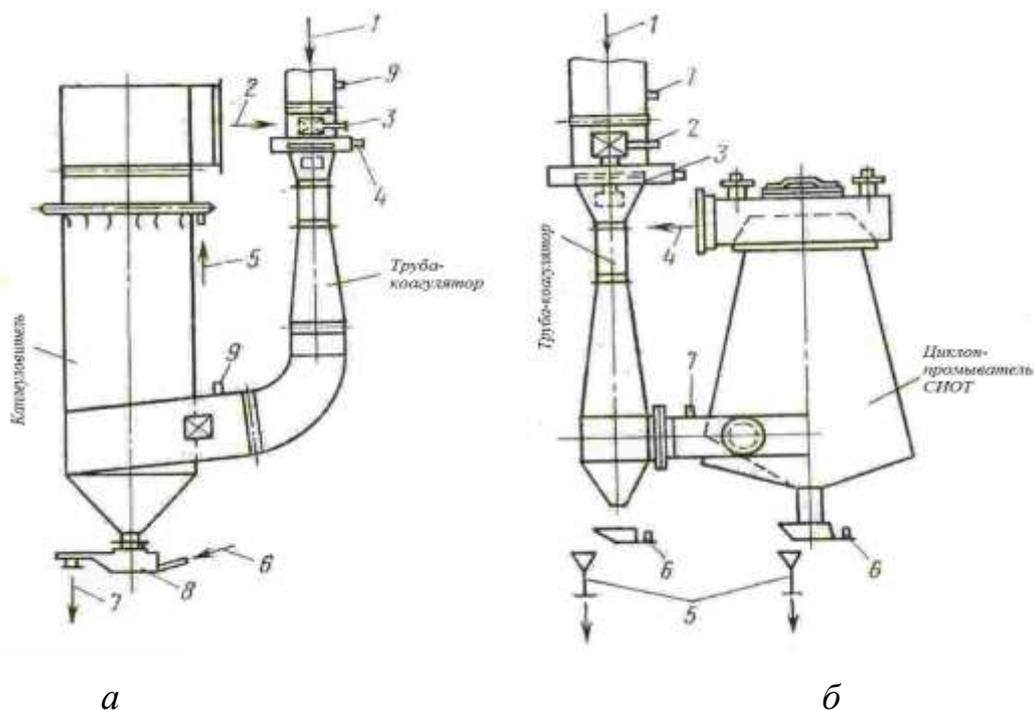
В циклоне-промывателе СИОТ в процессе пылеулавливания на пылевые частицы действует центробежная сила и промывание воздуха водой. Хороший контакт очищаемого воздуха с водой создается благодаря турбулизации и распылению воды в нижней части аппарата под действием воздушного потока.

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

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.

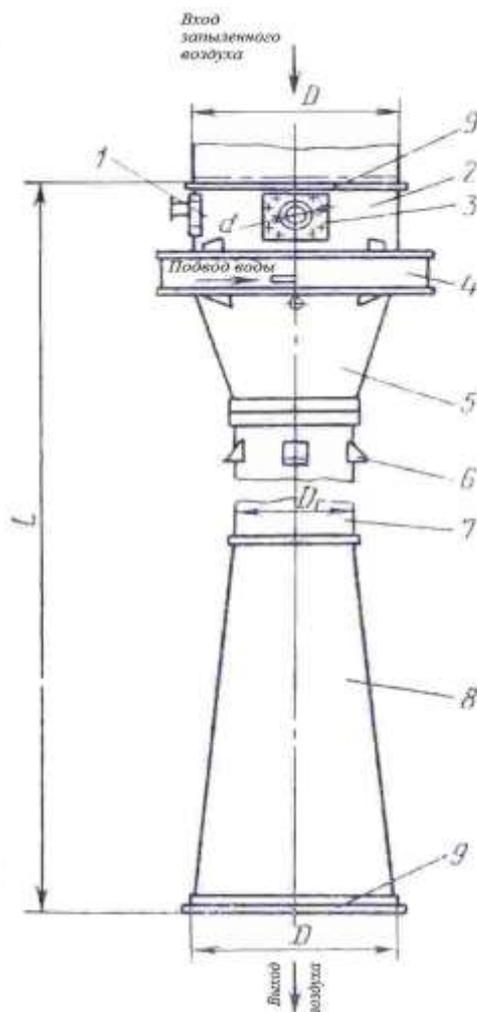
В результате высокой скорости в горловине трубы Вентури создается интенсивная турбулизация, которая обеспечивает хорошее перемещение пылевоздушного потока с тонкораспыленной водой, смачивание пылевых частиц и их коагуляцию. Воздушный поток, содержащий скоагулированные в трубе Вентури пылевые частицы, 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 [5].

Главными преимуществами СПУ Вентури являются простота устройства и малые габаритные размеры установки. Основным элементом СПУ изготавливают из чугуна или листовой стали [5].

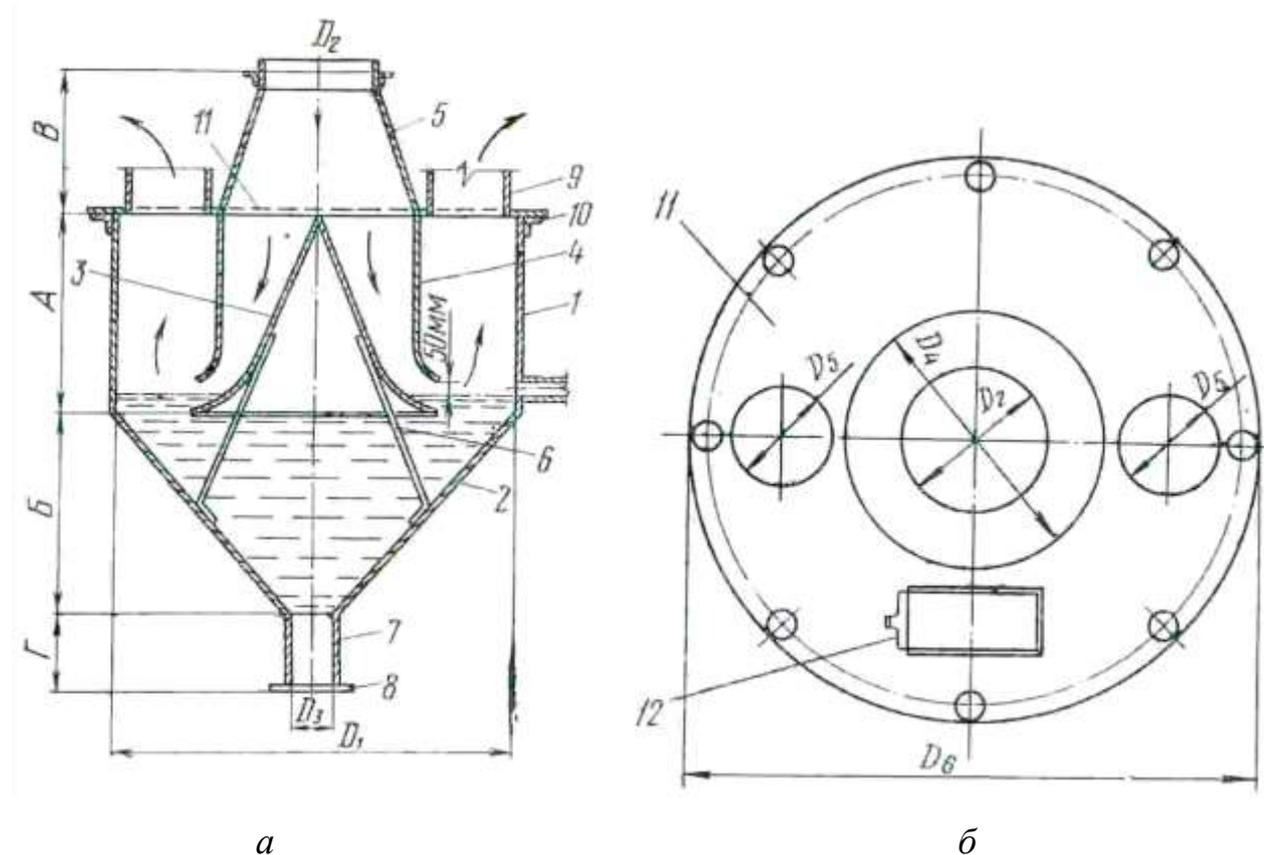
На рис. 18 показана труба Вентури.



**Рис. 18.** Труба Вентури: 1 – лазер 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 % [5].

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) [5].



**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 [5]:

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

### **Контрольные вопросы.**

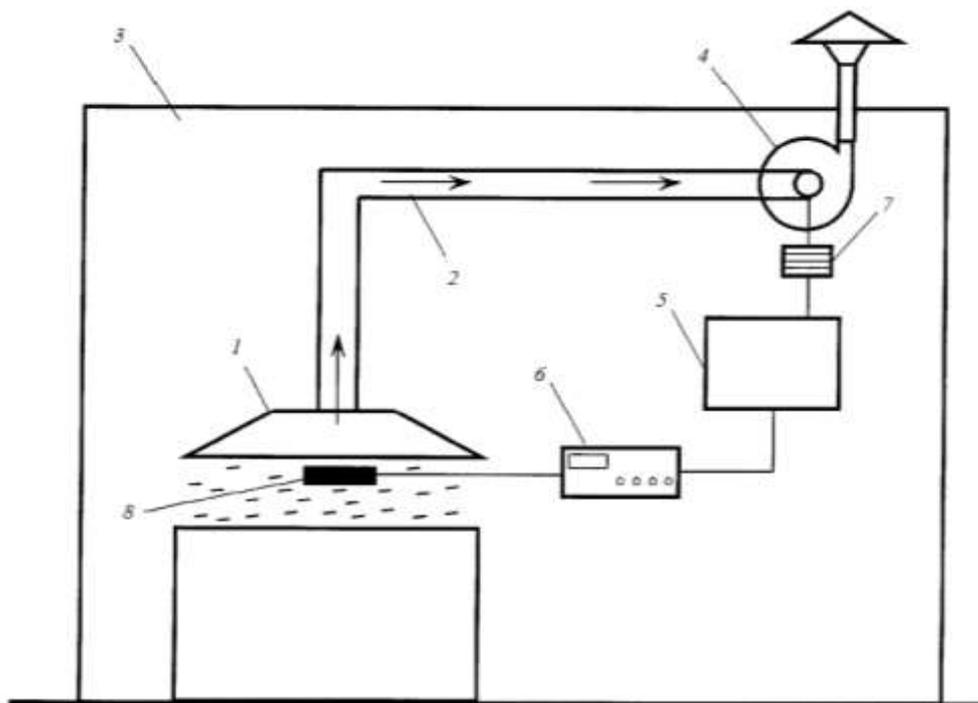
1. Как влияет размер частиц пыли на организм работающих?
2. Какими методами оценивают дисперсный анализ пыли?
3. В чем сущность микроскопического метода анализа пыли?
4. Опишите устройство лабораторной установки по определению пылевого состава воздуха.
7. Каким образом используют результаты дисперсного анализа пыли при выборе воздухоочистительного оборудования?
8. Как классифицируются средства очистки воздуха от пыли?

## **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 [11, 13, 14].

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

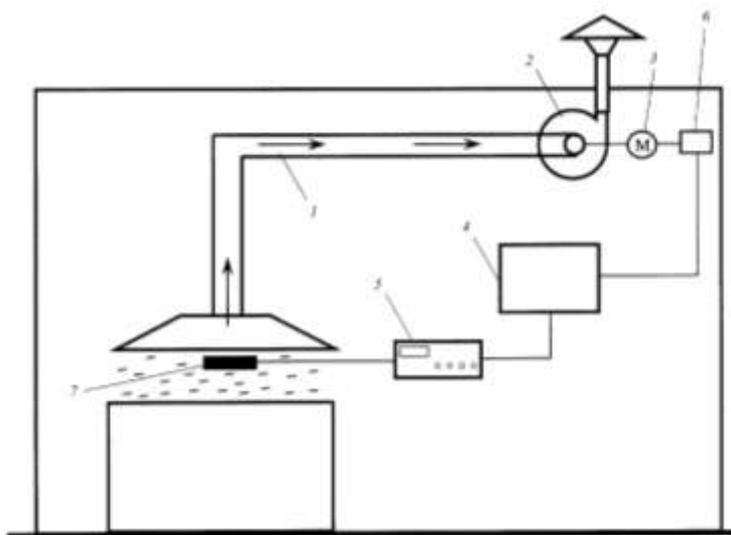
На рис. 20 представлен способ вентиляции промышленного предприятия [13].



**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 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. 21) [13].



**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 рас-

хода 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.

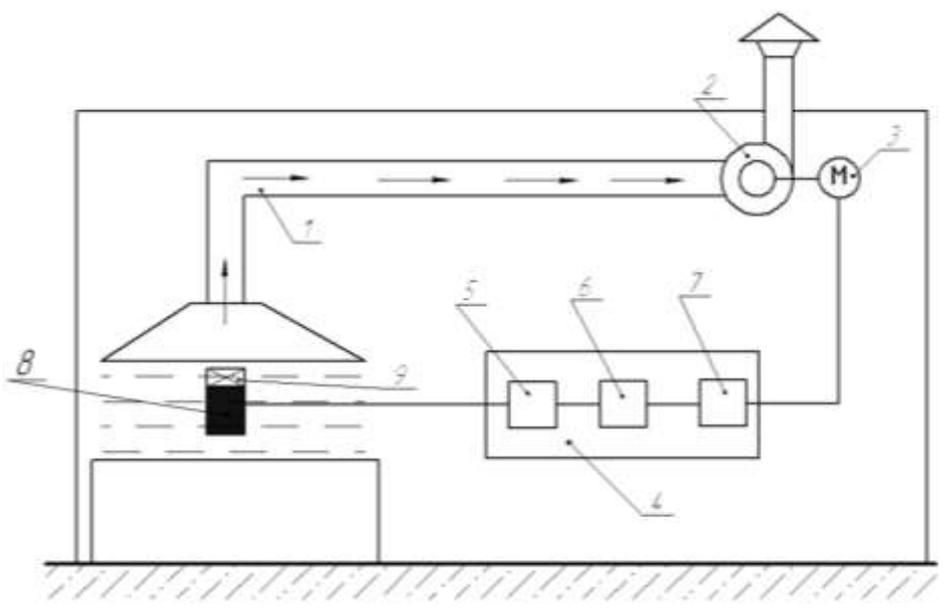
Устройства контроля концентрации вредных веществ являются одним из основных элементов автоматизации систем вентиляции, так как от их работы зависит эффективность работы всей системы. Основными параметрами устройств контроля концентрации вредных веществ (особенно пылей) являются чувствительность, надежность 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 вредными веществами воздух рабочей зоны производственного помещения забирают с помощью местных отсосов в вытяжной воздуховод 1, затем вентилятором 2 отводят в атмосферу. Количество удаляемого вытяжного воздуха регулируется исходя, из необходимости достижения заданной концентрации вредных веществ в рабочей зоне производственных помещений. Для этого блоком автоматического регулирования расхода воздуха 4 по импульсу от датчика концентрации вредных ве-

ществ 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:

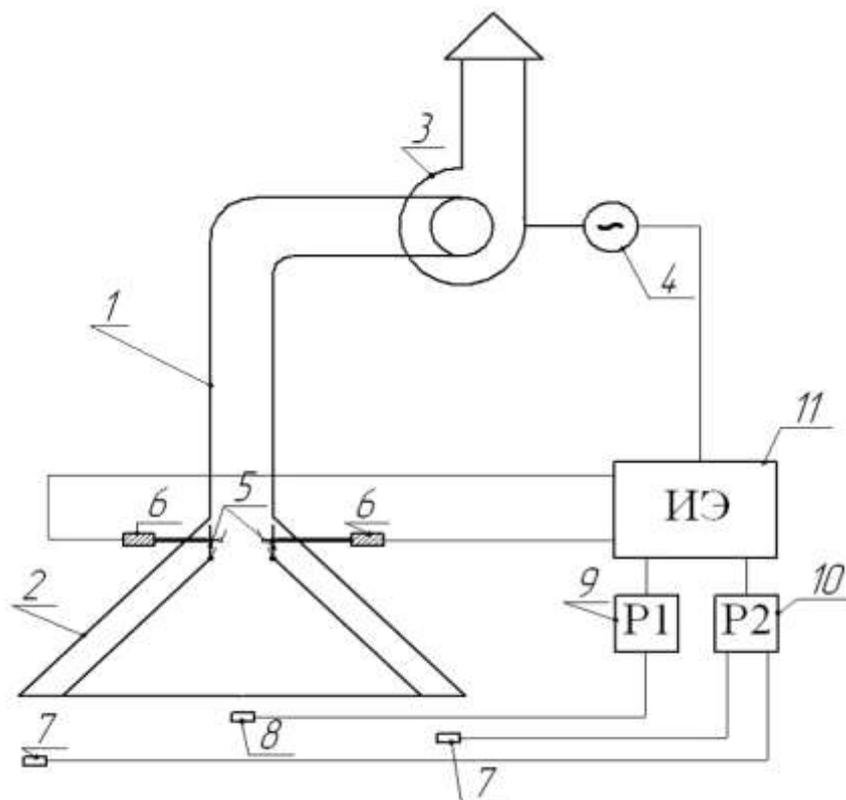
1 – вытяжной воздуховод, 2 – вентилятор, 3 – электродвигатель, 4 – блок автоматического регулирования расхода воздуха, 5 – преобразователь сигнала датчика, 6 – микроконтроллер, 7 – регулятор напряжения, 8 – датчик концентрации вредных веществ, 9 – побудитель движения воздуха

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 воздуховод загрязненного воздуха *1* расположены заслонки *5*, соединенные с электромагнитными исполнительными органами *6*. По периметру большего диаметра внешнего вытяжного воздуховода загрязненного воздуха *2* расположены внешние датчики концентрации вредных веществ *7*, которые также как и датчик концентрации вредных веществ *8* соединены с двухпозиционными регуляторами концентрации соответственно *9* и *10*. Исполнительный элемент *11* управляет электромагнитными исполнительными органами *6* и электродвигателем *4*.

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

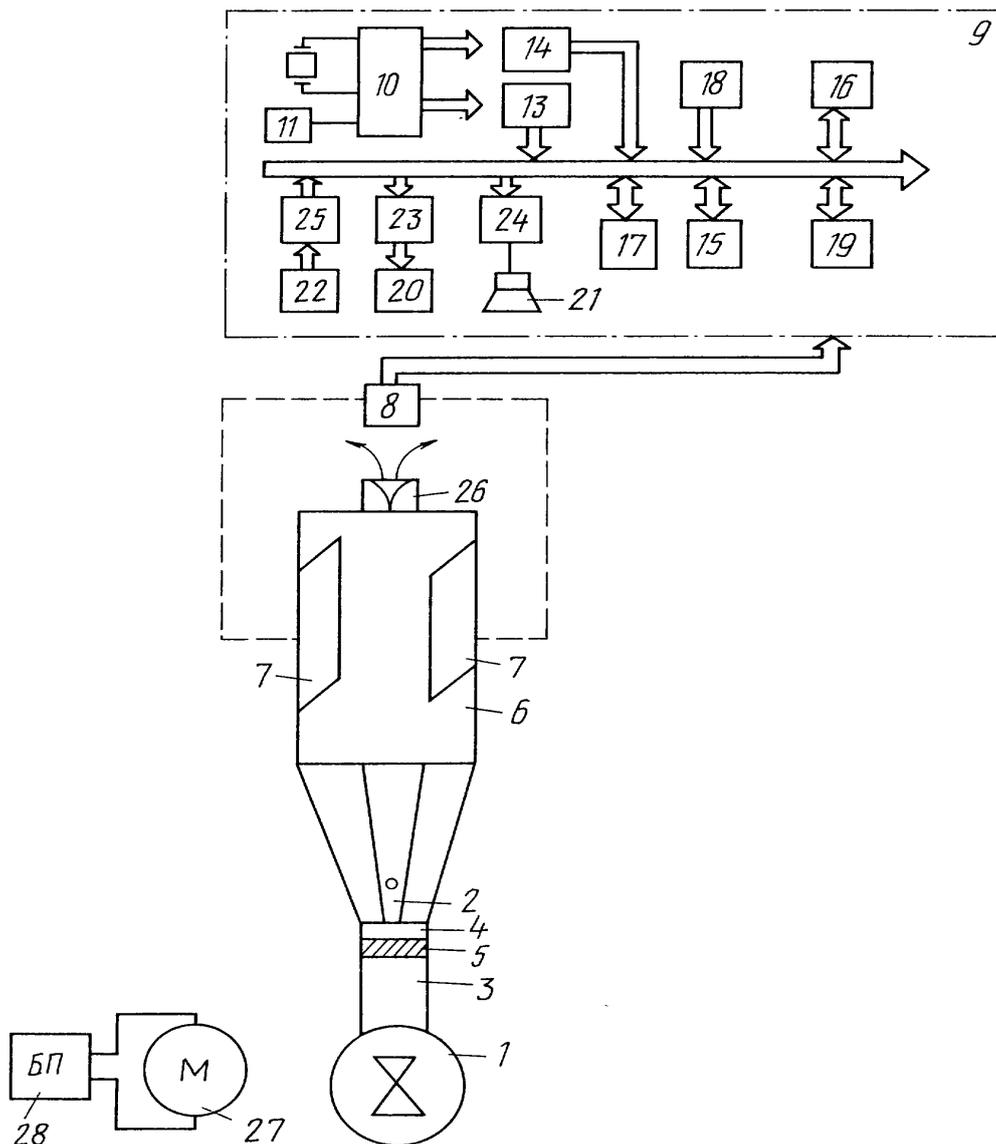
слонками, расположенными по периметру меньшего диаметра вытяжного воздуховода загрязненного воздуха.

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 [13].

Перед началом определения запыленности воздуха устройство необходимо настраивать (очищенный воздух с помощью фильтра 5 нагнетается в камеру б 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.

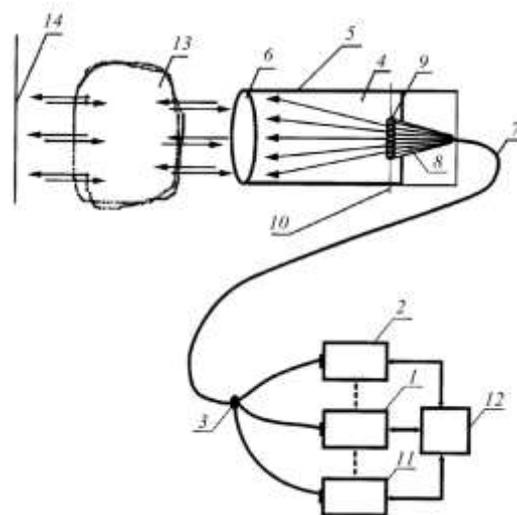
Недостатком данного устройства является отсутствие непрерывного контроля запыленности воздуха из-за необходимости постоянной калибровки устройства.



**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.

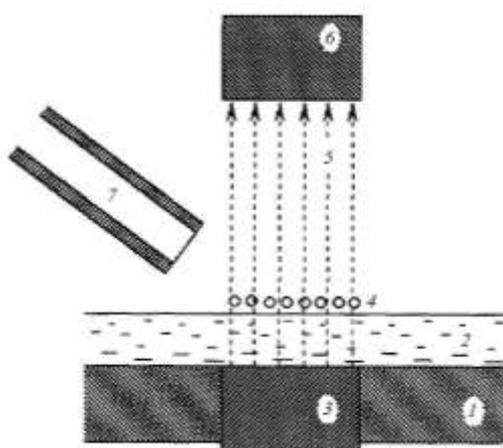
Обработка передаваемых и получаемых электрических сигналов осуществляется контроллером 12. Выносной датчик 4 размещен в исследуемом объеме производственной атмосферы 13, ограниченном стеной (препятствием) 14. Техническим результатом является обеспечение возможности оптического контроля атмосферы в объеме 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.

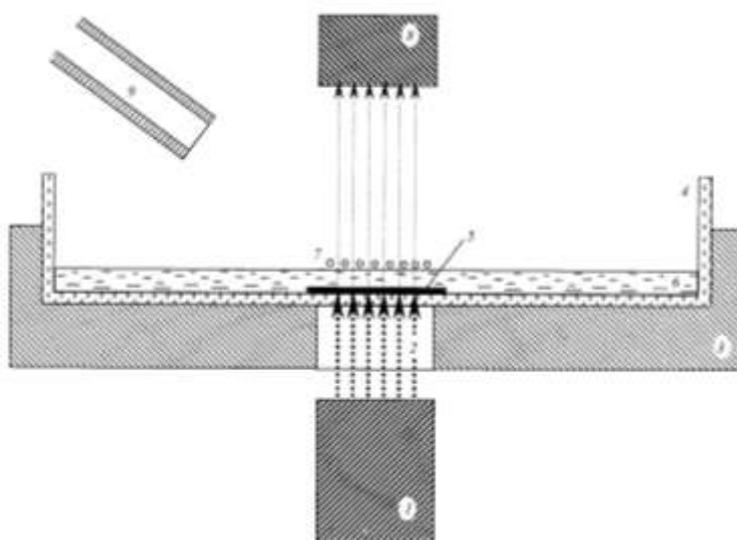
Также разработан способ контроля запыленности воздуха, в основе которого лежит явление «Капельный кластер», а его суть состоит в измерении скорости роста площади поверхности капельного кластера, который индуцируется светоизлучающим нагревательным элементом, встроенным в дно кюветы с открытым тонким слоем 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 [16] 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 [16] 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 сорбен-

том 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» [17], 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, предохранитель-

ный 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 (бутыли, 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 освеще-

нии, 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:

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

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

$v$  – 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. Фотокolorиметрический метод определения загрязненности воздуха**

Для контроля концентрации загрязняющих веществ в различных объектах окружающей среды широко применяют фотокolorиметрический 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 фотокolorиметрии 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 [17,39-41].

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 [18 – 21].

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.

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

## 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.

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

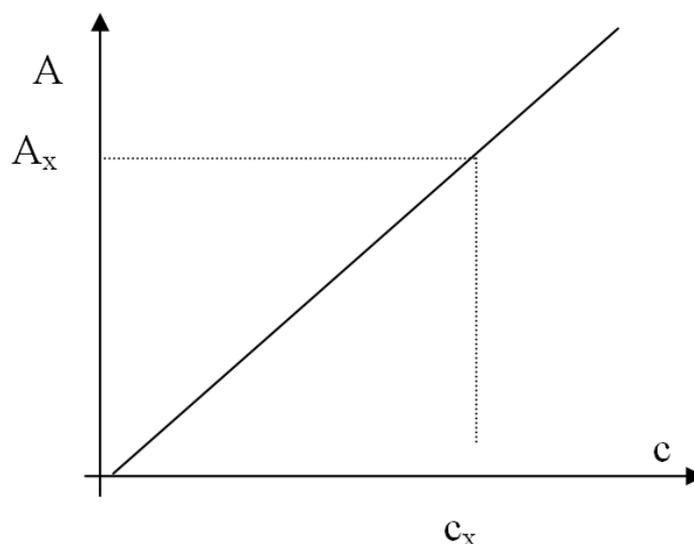


Рис. 28. Градуировочный график

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. Методы определения концентраций вредных веществ в воздухе производственных помещений**

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

Для создания безопасных и безвредных условий труда /Для быстрого определения концентрации вредного вещества существуют экспресс методы [16,39-41], 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 [16] приборы автоматического контроля воздушной среды, например, «Сирена», «Сирена -2», «Гамма», Колион и др., которые нашли большое применение в настоящее время.

#### **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?

12. Описать схему вентиляционной установки.

13. Устройство и работа газоанализатора.

14. Описать методику оценки эффективности удаления газов.

15. Предельно-допустимая концентрация.

16. Меры безопасности при работе с газоанализатором.

## **8. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЧЕЛОВЕКА**

### **8.1 Основные типы электромагнитных волн**

Среди многообразия факторов, оказывающих негативное воздействие на организм человека, можно выделить ионизирующее излучение, источниками которого является широкий класс приборов, к которым можно отнести современные коммуникативные средства [22,35-38].

Ионизирующее излучение принято подразделять на следующие классы:

- корпускулярное излучение (вызываемое нейтронами, протонами, бета- и гамма-лучами и ядерными частицами);

- электромагнитное, источниками которого являются элементы систем сотовой связи и других видов мобильной связи, разнообразные виды радиотехнических объектов (радиоцентры радио- и телестанции, радиолокационные (принимающие и передающие сигналы, например, в военных частях) и радиорелейные станции, земные станции спутниковой связи, наземный транспорт, использующий в своей работе спутниковую и мобильную телефонную связь, видеодисплейные терминалы (в магазинах, банках, аэропортах и т. д.) и мониторы персональных компьютеров, СВЧ-печи, индукционные печи).

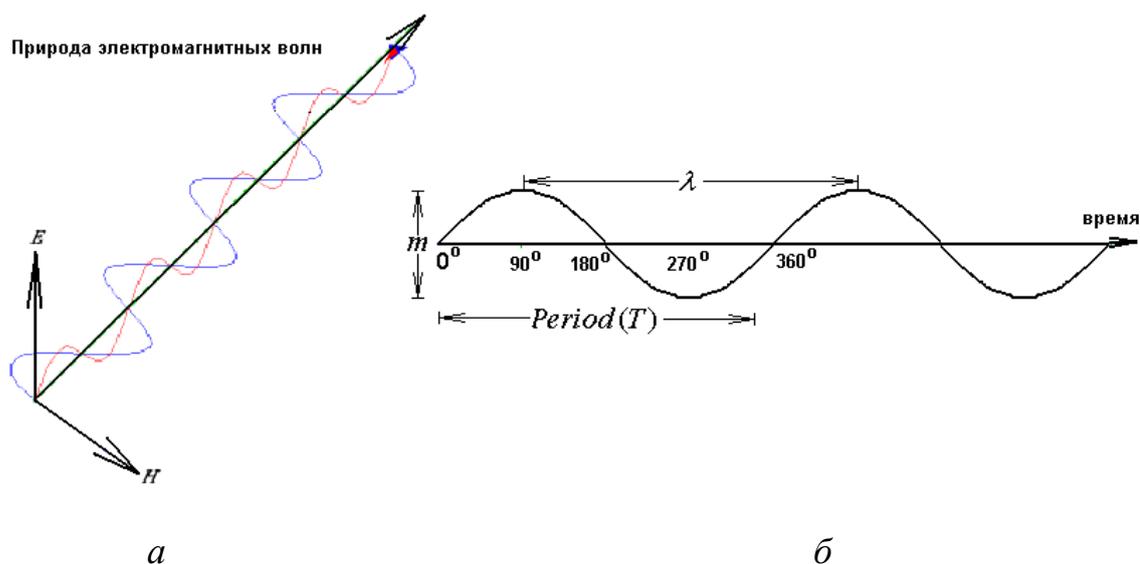
Сотовая (мобильная) радиотелефонная связь в настоящее время является одной из наиболее динамично развивающихся телекоммуникационных систем.

К началу 2006 года, в мире было зарегистрировано порядка 200 млн. абонентов, в том числе более 1 млн в России [23,35-37].

Основным негативным фактором использования электромагнитных источников, к которым относятся сотовые телефоны, генерируют электромагнитное поле, обладающее высокой биологической активностью.

Электромагнитное поле – это особая форма физической материи, являющаяся передатчиком взаимодействий электрически заряженных частиц. ЭМП можно охарактеризовать как поле, создаваемое электромагнитными волнами, испускаемыми ускоренно движущимися электрическими зарядами, возбужденными атомами и молекулами, а также другими излучающими системами.

Физические причины возникновения ЭМП связаны с образованием вихревого электрического поля, генерируемого магнитным полем. Напряженность поля характеризуется их частотой. Ускорение движения заряженных частиц приводит к отрыву вихревого поля от частиц, в результате чего, оно существует самостоятельно в форме электромагнитных волн (ЭМВ) или излучений. Взаимосвязь электрического и магнитного поля становится понятной из схемы, приведенной на рис. 29а. На рис. 29б приведены основные физические характеристики излучения.



**Рис. 29.** Электромагнитное излучение: а – природа электромагнитного излучения; б – физические характеристики излучения

ЭМВ и ЭМП бывают различных типов и обладают различными свойствами. ЭМВ характеризует длина волны ( $\lambda$ ). Для источника, генерирующего ЭМВ, применяется такое понятие, как частота ( $f$ ).

Волновые свойства ЭМП характеризуются длиной волны (нм) и частотой колебания поля (Гц). Скорость распространения электромагнитных волн в воздухе примерно равна 300 тыс. км/с.

Корпускулярные свойства электромагнитных волн определяются способностью вещества (атомов или молекул) излучать или поглощать энергию в виде отдельных элементов - квантов (фотонов). Увеличение длины волны характеризует уменьшение энергии кванта. Классификация ЭМВ по этому показателю приведена в табл. 5.

Таблица 5

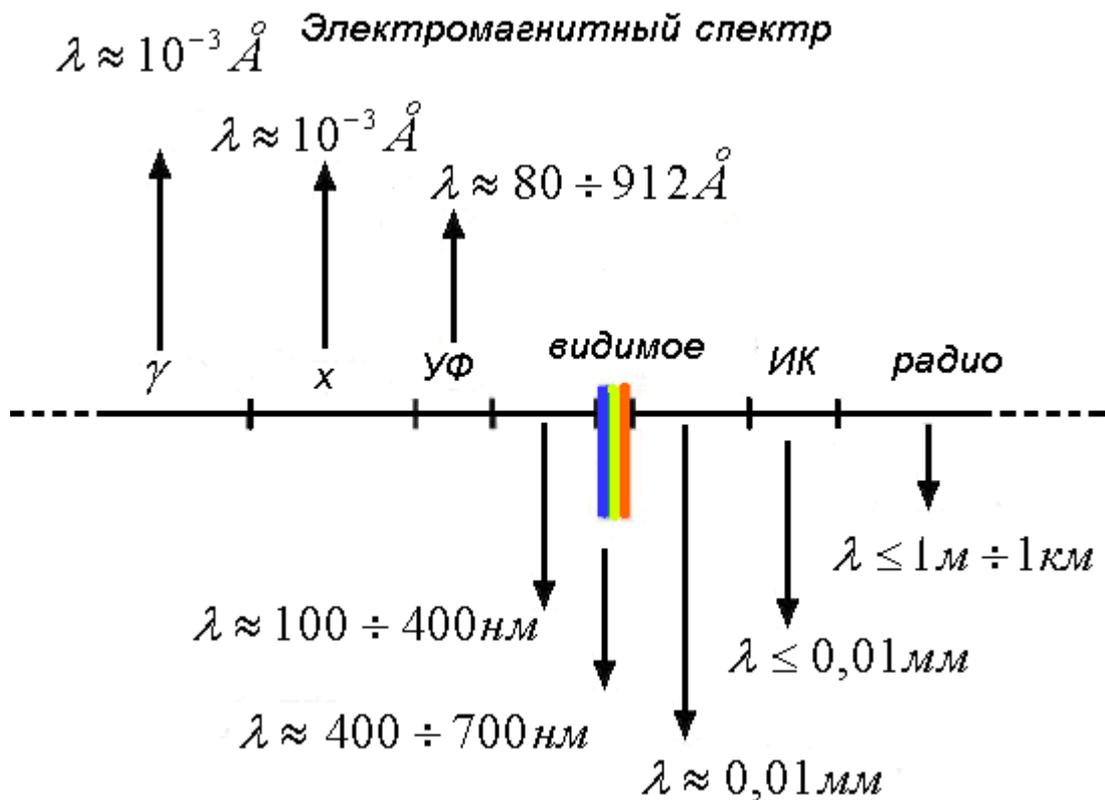
Типы электромагнитных волн (международная классификация волн по частотам)

Наименование частоты диапазона	Границы диапазона	Наименование волнового диапазона	Граница диапазона
Крайне низкие, КНЧ	3-30 Гц	Декамегаметровые	100-10 Мм
Сверхнизкие, снч	30-300 Гц	Мегаметровые	10-1 Мм
Инфранизкие, ИНЧ	0,3-3 кГц	Гектокилометровые	1000-100 км
Очень низкие, ОНЧ	3-30 кГц	Мириаметровые	100-10 км
Низкие частоты, НЧ	30-300 кГц	Километровые	10-1 км
Средние, СЧ	0,3-3 МГц	Гектометровые	1-0,1 км
Высокие частоты, ВЧ	3-30 МГц	Декаметровые	100-10 м
Очень высокие, ОВЧ	30-300 МГц	Метровые	10-1 м
Ультравысокие, УВЧ	0,3-3 ГГц	Дециметровые	1-0,1 м
Сверхвысокие, СВЧ	3-30 ГГц	Сантиметровые	10-1 см
Крайне высокие, КВЧ	30-300 ГГц	Миллиметровые	10 - 1 мм
Гипервысокие,	300-3000 ГГц	Децимиллиметровые	1-0,1 мм

По величине длины волны, ЭМВ классифицируются как:

- радиоволны (длиной от нескольких километров до 250 мкм (микрометров));
- инфракрасное излучение (длина волн от 250 мкм до 760 нм (нанометров));
- видимое световое излучение (760-400 нм);
- ультрафиолетовое излучение (400-10 нм);
- рентгеновское излучение (10-0,03 нм);
- гамма-излучение (длина волн менее 0,03 нм).

Соотношение между этими классами волн, представлено в форме графика, приведенного на рис. 30.



**Рис. 30.** Распределение волн электромагнитного спектра по длине волны

## 8.2. Тепловое излучение. Определение, нормирование, защита

## 8.2.1 Биологическое действие теплового излучения на человека

Инфракрасное излучение (тепловое) – часть электромагнитного спектра с длиной волны 760...1000 мкм, энергия которого при поглощении в веществе вызывает тепловой эффект.

С учетом особенностей биологического действия ИК-диапазон спектра подразделяют на три области: ИК-А (760...1400 нм), ИК-В (1400...3000 нм), ИК-С (3000 нм...1000 мкм). Наиболее активно коротковолновое ИК-излучение, так как оно обладает наибольшей энергией фотонов, способно глубоко проникать в ткани организма и интенсивно поглощаться водой, содержащейся в тканях [22, 23].

Интенсивность теплового излучения пропорциональна разности температур между поверхностью тела и окружающей средой и определяется по формуле:

$$Q_{изл} = \sigma \varepsilon F_{изл} \left( \left[ \frac{T_{изл}}{100} \right]^4 - \left[ \frac{T_T}{100} \right]^4 \right), \quad (9)$$

где:  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана ( $5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>));

$\varepsilon$  – степень черноты излучающей поверхности (0,95 – для тела человека; 0,9 – для поверхности одежды);

$T_{изл}$  – температура излучающей поверхности, К;

$T_T$  – температура поверхности тела (одежды), К;

$F_{изл}$  – площадь излучающей поверхности, м<sup>2</sup>.

*Вредное воздействие на человека.* Наиболее поражаемые у человека органы – кожный покров и орган зрения; при остром поражении кожи возможны ожоги, резкое расширение артериокапилляров, усиление пигментации кожи; при хронических облучениях изменение пигментации может быть стойким,

например эритемоподобный (красный) цвет лица у работников-стеклодувов, сталеваров. К острым нарушениям органа зрения относят ожоги конъюнктивы, помутнение и ожог роговицы, ожог тканей передней камеры глаза. При интенсивном ИК-излучении и длительном облучении возможно образование катаракты. Коротковолновая часть ИК-излучения может фокусироваться на сетчатке, вызывая ее повреждение. ИК-излучение воздействует, в частности, на обменные процессы в миокарде, водно-электролитный баланс в организме, на состояние верхних дыхательных путей (развитие хронического ларингита, ринита, синуситов), не исключается мутагенный эффект ИК-излучения.

Реакция организма на воздействие ИК-излучения:

- при длинноволновом повышается температура тела;
- при коротковолновом изменяется температура внутренних органов.

В результате длительного воздействия ИК-излучения нарушается тепловой баланс организма с окружающей средой, что приводит к изменениям функции аппарата терморегуляции (перегрев), усилению потоотделения (выводятся нужные организму соли), сгущению крови.

#### 8.2.2. Нормирование теплового излучения и способы защиты от него

Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый металл, стекло, «открытое пламя» и др.) не должна превышать  $140 \text{ Вт/м}^2$ , при этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз (табл. 6) [22, 23, 38].

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия (например, системы местного кондиционирования воздуха; воздушное душирование; компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого; спецодежда и другие средства индивидуальной защиты; помещения для отдыха и обогрева; регламентация времени работы: перерывы в работе, со-

кращение рабочего дня, увеличение продолжительности отпуска, уменьшение стажа работы и др.).

Во избежание чрезмерного общего перегрева организма и локального повреждения (ожог) регламентируются продолжительность периодов непрерывного инфракрасного облучения человека и пауз между ними.

*Таблица 6*

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup>
50 и более	35
25 – 50	70
не более 25	100

Рекомендуется принимать на работу в нагревательной среде лиц не моложе 25 лет и не старше 40, обладающих высокой тепловой устойчивостью. Одним из эффективных коллективных средств защиты от теплового излучения работающих является создание определенного термического сопротивления на пути теплового потока в виде экранов различных конструкций – прозрачных, полупрозрачных и непрозрачных. По принципу действия экраны подразделяются на теплопоглощительные, теплоотводящие и теплоотражательные.

Теплопоглощительные экраны – изделия с высоким теплосопротивлением, например огнеупорный кирпич.

Теплоотводящие экраны – сварные или литые колонны, в которых циркулирует в большинстве случаев вода. Такие экраны обеспечивают температуру на наружной поверхности 30 – 35° С. Более эффективно использовать теплоотводящие экраны с испарительным охлаждением - они сокращают расход воды в десятки раз.

К теплоотражающим относят экраны, изготовленные из материалов, хорошо отражающих тепловое излучение. Это листовый алюминий, белая жель, полированный титан. Такие экраны отражают до 95% длинноволнового излу-

чения. Непрерывное смачивание экранов такого типа водой позволяет задерживать излучение почти полностью.

Эффективность защитного экрана определяют по формуле:

$$k_{\text{э}} = \left( 1 - \frac{q_0 - q_i}{q_0} \right) \cdot 100\%, \quad (10)$$

где  $q_0$  и  $q_i$  - плотность теплового излучения без и с экраном, соответственно, Вт/м<sup>2</sup>.

Если же необходимо обеспечить возможность наблюдения за ходом технологического процесса при наличии теплового облучения, то в этом случае широко применяют цепные завесы, представляющие собой наборы металлических цепей, подвешенных перед источником излучения (эффективность до 60 – 70%), и прозрачные водяные завесы в виде сплошной тонкой водяной пленки. Слой воды толщиной 1 мм полностью поглощает часть спектра с  $\lambda = 3$  мкм, а толщиной воды в 10 мм – с длиной волны  $\lambda = 1,5$  мкм.

### **Контрольные вопросы.**

1. Что такое тепловое излучение?
2. В чем проявляется вредное и опасное воздействие теплового излучения на человека?
3. Какие виды защиты от теплового излучения используются в производственных условиях?
4. Как нормируется тепловое излучение?
5. С помощью какого устройства измеряется интенсивность теплового излучения в лабораторной установке?

### **8.3. Лазерное излучение. Особенности воздействия на человека**

Одним из видов антропогенного воздействия на окружающую природную среду является ее энергетическое загрязнение. Под этим понятием подразумевают выбросы в биосферу от промышленных и иных объектов различных видов энергии таких интенсивностей, которые могут быть вредны для организма человека и животных и существенным образом отрицательно влиять на окружающую среду.

Особую опасность представляет собой лазерное излучение, генерируемое оптическими квантовыми генераторами (лазерами), которые являются источниками мощного монохроматического излучения видимого, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов. Вследствие своих уникальных свойств они нашли широкое применение в военной технике, металлургии, микроэлектронике, медицине, системах связи, голографии, вычислительной технике, в исследовании по термоядерному синтезу и многих других областях. Лазеры непрерывно совершенствуются. Появляются новые области их применений, возрастает количество лиц, занятых обслуживанием лазерных установок.

### 8.3.1. Основные характеристики лазерного излучения и особенности воздействия на человека

Лазерное излучение является электромагнитным излучением с длиной волны 0,2...1000 мкм. Этот диапазон может быть разбит в соответствии с биологическим действием на ряд областей спектра [23, 35-37]:

1-й диапазон от 180 до 380 нм – ультрафиолетовая область;

2-й диапазон от 380 до 1400 нм – видимая и ближняя инфракрасная области;

3-й диапазон от 1400 до  $10^5$  нм – дальняя инфракрасная область.

С энергетической точки зрения лазерное излучение характеризуется следующими параметрами:

- энергетической облученностью (освещенностью)  $E$ , определяемой как отношение потока излучения, падающего на рассматриваемый малый участок поверхности, к площади этой поверхности, Вт/см<sup>2</sup>;

- энергетической экспозицией  $H$ , определяемой как отношение энергии излучения, падающей на рассматриваемый участок поверхности, к площади этой поверхности, Дж/см<sup>2</sup>. Энергетическую экспозицию можно определять также как произведение энергетической освещенности Вт/см<sup>2</sup> на длительность облучения сек.

Лазерное излучение обладает высокой монохроматичностью и когерентностью, а также малой расходимостью луча. Это позволяет получать исключительно высокие уровни концентрации энергии в лазерном луче: плотность энергии до  $10^{12}$  Дж/см<sup>2</sup> и плотность мощности до  $10^{22}$  Вт /см<sup>2</sup>.

По виду излучения лазерное излучение делится на:

а) коллимированное (прямое и зеркально отраженное) излучение – лазерное излучение, заключенное в ограниченном телесном угле;

б) зеркально отраженное излучение – лазерное излучение, отраженное от поверхности под углом, равным углу падения излучения;

в) рассеянное излучение – лазерное излучение, рассеянное от вещества, находящегося в составе среды, сквозь которую проходит излучение;

г) диффузно отраженное излучение – лазерное излучение, отраженное от поверхности по всевозможным направлениям в пределах полусферы.

Лазер может работать как в импульсном режиме, так и в непрерывном. Непрерывным лазерным излучением является излучение, существующее в любой момент времени наблюдения, а импульсным – излучение, существующее в ограниченном интервале времени, меньшим времени наблюдения.

#### *Воздействие лазерного излучения на человека.*

При эксплуатации лазерных установок обслуживающий персонал может подвергаться воздействию большого числа опасных и вредных факторов. Все эти факторы подразделяются на основные и сопутствующие. К основным относятся собственно монохроматическое когерентное лазерное и паразитное излу-

чения (отраженное и рассеянное). К сопутствующим – факторы, которые возникают на лазерных участках при эксплуатации лазеров и другого оборудования, такие как шум, вибрации, электромагнитные и ионизирующие излучения, наличие высоких напряжений, а также наличие вредных веществ. Под влиянием этих факторов может происходить нарушение жизнедеятельности как отдельных органов человека, так и всего организма в целом.

Наибольшую опасность лазерное излучение представляет для органов зрения. Практически на всех длинах волн внутрь глаза свободно проникает лазерное излучение. Лучи света, прежде чем достигнуть сетчатки глаза, проходят последовательно через несколько преломляющих сред: роговицу, хрусталик и, наконец, стекловидное тело. При рассмотрении воздействия лазерного излучения на орган зрения необходимо отдельно разбирать действие излучения в интервале длин волн 0,4 – 1,4 мкм и вне этого интервала, где оптические среды глаза являются непрозрачными. Облученность, создаваемая лазерным излучением на сетчатке, вследствие фокусирующего действия хрусталика (имеет вид двояковыпуклой линзы) в десятки и сотни тысяч раз может быть выше, нежели облученность, создаваемая на роговице и других частях глаза. Как показывает анализ, ее величина будет определяться мощностью лазерного излучения, его апертурой и углом расходимости, а также диаметром зрачка. Длительное облучение сетчатки в видимом диапазоне на уровнях, не намного меньших порога ожога, может вызывать в ней необратимые изменения. Повреждение сетчатки обязательно сопровождается нарушением функции зрения. Клетки сетчатки, как и клетки центральной нервной системы, после повреждения не восстанавливаются [31-34].

Первой линией защиты организма человека от повреждения лазерным излучением является кожа, которая представляет собой важный физиологически активный орган, обширные повреждения которого могут привести к гибели организма. Степень повреждения кожи зависит от поглощенной энергии, а сами повреждения могут быть различными: от легкого покраснения (эритемы) до обугливания. Минимальное повреждение кожи образуется при воздействии ла-

зерного излучения с энергетической экспозицией  $0,1-1 \text{ Дж/см}^2$  (в зависимости от степени пигментации кожи и длительности воздействия). Наибольшее биологическое воздействие на кожу оказывает лазерное излучение с длинами волн  $0,28-0,32 \text{ мкм}$ .

Лазерное излучение дальней инфракрасной области спектра способно проникать через ткани тела и взаимодействовать с биологическими структурами на значительной глубине, поражая внутренние органы. Наибольшую опасность для внутренних органов представляет сфокусированное лазерное излучение. Однако следует учитывать, что и не сфокусированное излучение может фокусироваться в глубине тела человека. Кроме того, следует учитывать воздействие ударной волны, возникающей при работе мощных лазеров в импульсном режиме. Степень повреждения в значительной степени определяется энергетической облученностью и цветом окраски органа. Печень является одним из наиболее уязвимых органов.

В целом, лазерное излучение оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека. Наблюдающиеся патологические изменения проявляются в виде функциональных расстройств центральной нервной системы, нарушения сердечно-сосудистой регуляции, что проявляется в неустойчивости артериального давления, замедлению пульса, повышенной потливости. У операторов лазерных установок иногда наблюдают повышенную раздражительность, утомляемость глаз и всего организма. Имеются данные об изменении состава крови (уменьшении эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина и т.д.). Все это свидетельствует о том, что у них возникают изменения как патологического характера, обусловленные тепловым действием излучения, так и функционального, обусловленные скрытыми биологическими эффектами.

### 8.3.2. Классификация лазеров по степени опасности

Определение класса лазера основано на сравнении его выходной энергии (мощности) и допустимых пределов излучения при однократном воздействии

генерируемого излучения. Под однократным воздействием лазерного излучения понимается случайное воздействие с длительностью, не превышающей  $3 \cdot 10^{-4}$  с.

По степени опасности лазеры согласно ГОСТ Р 50723-94 и «Санитарным нормам и правилам устройства и эксплуатации лазеров» № 5804-91 подразделяются на четыре класса [24, 25]:

1-й класс – выходное коллимированное излучение не представляет опасности для глаз и кожи, т.е. лазерные изделия безопасны при предполагаемых условиях эксплуатации;

2-й класс – выходное излучение (в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм) представляет опасность при облучении глаз коллимированным пучком. Защита глаз помимо изложенных ниже, обеспечивается естественными реакциями, включая рефлекс мигания;

3-й класс – выходное излучение представляет опасность при облучении глаз коллимированным, а также диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от отражающей поверхности, и (или) при облучении кожи коллимированным излучением. Дополнительно можно отметить, что класс 3 согласно ГОСТ делится на два класса: 3А и 3В. Непосредственное наблюдение пучка, испускаемого лазерными изделиями класса 3А с помощью оптических инструментов, может быть опасным. Непосредственное наблюдение же лазерного излучения изделий класса 3В всегда опасно;

4-й класс – выходное излучение представляет опасность при облучении кожи диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от отражающей поверхности. Такие лазерные изделия создают опасное рассеянное излучение.

Классификация лазеров проводится по выходным характеристикам излучения расчетным методом согласно ГОСТ Р 50723 – 94 в соответствии с табл. 7 (приведены расчетные соотношения для определения ДПИ в случае непрерывного лазерного излучения видимого диапазона). При этом лазерное изделие относится к конкретному классу опасности, если лазерное излучение, проходящее через апертуру, превышает допустимый предел излучения (ДПИ) для всех более низких классов, но не превышает ДПИ для класса, к которому изделие отнесено.

Таблица 7

Допустимые пределы излучения для лазерных изделий при длительности воздействия  $t=0,25 - 10$  с на длинах волн  $400 - 700$  нм.

Класс опасности лазера	Допустимый предел излучения
1	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} C$ , Дж
2	$C \cdot 10^{-3}$ , Вт
3А	$5 \cdot 10^{-3}$ , Вт
3В	0,5 Вт
<i>Примечание.</i> $C = 1$ для $\alpha \leq \alpha_{\min}$ ; $C = \alpha / \alpha_{\min}$ для $\alpha < \alpha_{\min}$ . $\alpha \leq \alpha_{\min} = 1,5$ мрад для $t < 0,7$ с и $\alpha_{\min} = 2t^{0,75}$ мрад для $0,7 \leq t < 10$ с.	

### 8.3.3. Защитные мероприятия при эксплуатации лазерных установок

Все защитные мероприятия при эксплуатации лазерных установок согласно нормативным документам можно разделить на конструктивные и эксплуатационные. Естественно, что степень защитных мероприятий должна соответствовать классу опасности лазера. Так, например, при работе с лазером 1 класса опасности никаких мер защиты не требуется [23].

Лазерное изделие должно иметь защитные устройства, предотвращающие несанкционированное воздействие на персонал лазерного излучения, превышающее ДПИ для класса 1, а также блокировки с целью обеспечения безопасности при техническом обслуживании.

Лазеры 3-х и 4-го класса опасности должны быть снабжены визуальными и (или) звуковыми устройствами предупреждения о лазерной опасности. Визуальный предупредительный сигнал должен отличаться интенсивностью или прерывистостью и быть хорошо виден через защитные очки. Звуковой предупредительный сигнал должен представлять собой последовательность звуковых импульсов не менее 0,2 с.

Лазеры 3-х и 4-го классов должны быть снабжены съемным ключом управления. Пульт (панель) управления лазерными изделиями должен разме-

щаться так, чтобы не происходило облучения персонала. Лазерные изделия классов 3В и 4, как правило, должны иметь дистанционное управление.

Лазерные изделия 3-4-го классов до начала их работы должны быть приняты комиссией, назначенной администрацией учреждения, с обязательным включением в ее состав представителей Госсанэпиднадзора.

Безопасность на рабочих местах при эксплуатации лазерных изделий должна обеспечиваться соответствующей организацией рабочего места. Основное условие безопасной работы – исключение возможности воздействия на персонал лазерного излучения или чтобы его величина не превышала ДПИ для класса 1. Поэтому между лазерными изделиями 3-4-го классов рекомендуемые расстояния со стороны пультов управления составляют не менее 1,5 м при однорядном расположении и не менее 2 м при двухрядном. Траектория прохождения лазерного луча должна быть заключена в оболочку из несгораемого материала или иметь ограждение, снижающее уровень лазерного излучения при визуальном наблюдении лазерного пучка до ДПИ для класса 1 и исключая бесконтрольное попадание лазерного пучка на зеркально отражающие поверхности. Оболочка или ограждение траектории лазерного пучка должны иметь предупреждающую надпись (знак лазерной опасности). Защитные экраны должны быть изготовлены из огнестойкого и непроницаемого для лазерного излучения материала.

Открытые траектории излучения лазеров 2 – 4 классов опасности в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высота траектории составляет величину 2,2 м. Пучок излучения лазеров 2 – 4 классов опасности должен ограничиваться на конце полезной траектории диффузным поглотителем или отражателем.

Лазерные изделия классов 3В и 4 должны эксплуатироваться, как правило, в специально выделенных помещениях.

Запрещается осуществлять наблюдение прямого и зеркально отраженного лазерного излучения при эксплуатации лазеров 2 – 4 классов опасности без

средств индивидуальной защиты и размещать в зоне лазерного пучка предметы, вызывающие его зеркальное отражение.

### **Контрольные вопросы.**

1. Виды лазерного излучения и его основные характеристики.
2. Особенности воздействия лазерного излучения на глаза. Его воздействие на кожу.
3. Что опаснее непрерывное или импульсное лазерное излучение и почему?
4. Какие классы лазеров по степени опасности существуют? Дать определение всех классов лазеров.
5. Что понимают под предельно допустимым уровнем (ПДУ) лазерного излучения при однократном и хроническом воздействиях?
6. От чего зависит ПДУ лазерного излучения?
7. Защитные меры от воздействия излучения лазеров 2-го класса опасности и 3-го – 4-го классов опасности.
8. Области практического применения лазеров.

## **8.4. Электромагнитное излучение радиочастотного диапазона**

### **8.4.1. Биологическое воздействие ЭМИ радиочастотного диапазона**

К настоящему моменту выделены основные особенности воздействия ЭМП на организм человека [26]:

- ЭМП оказывает значительное воздействие на процессы, протекающие в органах тела человека, что может приводить к эффектам стимуляции или угнетения работы отдельных клеток;

- мобильные коммуникативные устройства излучают электромагнитные волны во всем диапазоне частот. Электромагнитное излучение имеет тенденцию к накоплению негативного воздействия на организм человека. Пользователи мобильных телефонов, так же как и других аппаратов, излучающих ЭМВ,

имеют, как правило, самую высокую степень электромагнитного отягощения. С накоплением электромагнитного отягощения ухудшается состояние иммунной системы, приводящее к появлению широкого спектра заболеваний;

- все источники излучения образуют в трехмерном пространстве совокупное объемное излучение, распространяющееся во все стороны. Поэтому вред от мобильного телефона получают не только пользователи, но и окружающие, а в особо неблагоприятном случае, люди, находящиеся в соседнем помещении;

- по последним данным, наибольшему влиянию к излучению, подвержен организм с интенсивным делением клеток. Поэтому, максимальную чувствительность к излучению имеют дети и беременные женщины. Выяснилось, что при использовании мобильным телефоном организм ребенка гораздо быстрее и чаще взрослых утомляется, быстрее формируется психическая неустойчивость, стрессы, агрессивность и подавленное настроение, разрушается иммунная система.

В мобильных телефонах в настоящее время используется большой диапазон частот: от 450 – 1800 МГц до 2 ГГц, т. е. низкочастотные волны, радиоволны, волны с ультравысокой (УВЧ) и сверхвысокой частотой (СВЧ). Общее свойство волны с различной частотой – формирование ЭМП. Кроме того, волны с различной частотой способны оказывать специфические воздействия на организм. Важным параметром ЭМВ и ЭМП, определяющим их биологическое воздействие на организм человека, является интенсивность или плотность потока энергии, выражаемая в мкВт/см<sup>2</sup>.

Спектр электромагнитных колебаний по частоте достигает  $10^{21}$  Гц. В зависимости от энергии фотонов (квантов) его подразделяют на область неионизирующих и ионизирующих излучений. В гигиенической практике к неионизирующим излучениям относят также электрические и магнитные поля.

Большую часть спектра неионизирующих электромагнитных излучений составляют радиоволны (3 – 3000 ГГц), меньшую часть — колебания оптического диапазона (инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое излучение). В зависимости от частоты падающего электромагнитного излучения ткани орга-

низмов проявляют различные электрические свойства и ведут себя как проводник или как диэлектрик.

В целом по всему спектру поглощение энергии ЭМП зависит от частоты колебаний, электрических и магнитных свойств среды. При одинаковых значениях напряженности поля коэффициент поглощения в тканях с высоким содержанием воды примерно в 60 раз выше, чем в тканях с низким содержанием. С увеличением длины волны глубина проникновения электромагнитных волн возрастает; различие диэлектрических свойств тканей приводит к неравномерности их нагрева, возникновению макро- и микротепловых эффектов со значительным перепадом температур.

В зависимости от места и условий воздействия ЭМИ различают четыре вида облучения: профессиональное, непрофессиональное, облучение в быту и облучение, осуществляемое в лечебных целях, а по характеру облучения - общее и местное.

Степень и характер воздействия ЭМИ на организм определяются частотой излучения, продолжительностью воздействия, режимом облучения (непрерывный, прерывистый, импульсный), размером облучаемой поверхности, индивидуальными особенностями организма, наличием сопутствующих факторов (повышенная температура окружающего воздуха, свыше 28°C, наличие рентгеновского излучения). Установлено, что относительная биологическая активность импульсных излучений выше непрерывных.

Биологические эффекты от воздействия ЭМИ могут проявляться в широком диапазоне последствий, начиная от незначительных функциональных сдвигов до нарушений, свидетельствующих о развитии явной патологии. Следствием поглощения энергии ЭМИ является тепловой эффект. Избыточная теплота, выделяющаяся в организме человека, отводится путем увеличения нагрузки на механизм терморегуляции; начиная с определенного предела организм не справляется с отводом теплоты от отдельных органов и температура их может повышаться. Воздействие ЭМИ особенно вредно для тканей со слаборазвитой сосудистой системой или недостаточным кровообращением (глаза, мозг, почки, желудок, желчный

и мочевой пузырь). Облучение глаз может привести к помутнению хрусталика (катаракте), причем развитие катаракты является одним из немногих специфических поражений, вызываемых ЭМИ радиочастот в диапазоне 300МГц – 300 ГГц при плотности потока энергии (ППЭ) свыше 10 мВт/см<sup>2</sup>. Помимо катаракты при воздействии ЭМИ возможны ожоги роговицы.

Острые нарушения при воздействии ЭМП (аварийные ситуации) сопровождаются сердечно-сосудистыми расстройствами с обмороками, резким учащением пульса и снижением артериального давления. В последнее время, наиболее опасными источниками электромагнитного излучения для человека являются сотовые телефоны и компьютерные видеотерминалы, а также разнообразные радиоэлектронные и электрические изделия, широко используемые в быту: телевизоры, игровые приставки, микроволновые печи и т.д.

Согласно определению стресса как общего адаптационного синдрома, вызывающего неспецифические реакции организма, ЭМИ, безусловно, могут быть определены как стрессирующий фактор. Уже при уровнях, превышающих фоновые, но не достигающих ПДУ для соответствующего диапазона частот, отмечаются значительные функциональные изменения состояния сердечно-сосудистой и нервной систем. Это свидетельствует об адаптационно-компенсаторных процессах в организме, что является проявлением реакции напряжения. Субъективно человеком отмечаются повышенная раздражительность, утомляемость, головные боли, расстройства сна, памяти.

Систематическое воздействие на человека ЭМИ с уровнями, превышающими ПДУ, может привести к развитию явлений дезадаптации, что свидетельствует о появлении патологий в центральной нервной, эндокринной и иммунной системах.

#### 8.4.2. Нормирование ЭМП радиочастотного диапазона

Нормирование ЭМИ радиочастотного диапазона проводится согласно требованиям СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производствен-

ных условиях» и ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля». В основу гигиенического нормирования положен принцип определения дозы, воздействующей на организм человека [27].

В диапазоне частот 60 кГц – 300 МГц интенсивность электромагнитного поля выражается предельно допустимой напряженностью электрического ( $E_m$ ) и магнитного ( $H_{nd}$ ) полей. Помимо напряженности нормируемым значением является предельно допустимая энергетическая экспозиция электрического ( $\mathcal{E}\mathcal{E}$ ) и магнитного ( $\mathcal{E}\mathcal{E}_H$ ) полей. Энергетическая нагрузка, создаваемая электрическим полем, может быть рассчитана из соотношения:

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_H = H^2 T \quad (11)$$

где  $T$  – время воздействия, ч.

Предельно допустимые значения  $E$  и  $H$  в диапазоне частот 60кГц – 300 МГц на рабочих местах персонала устанавливают, исходя из допустимой энергетической экспозиции и времени воздействия, и могут быть определены по следующим формулам:

$$E_{ПД} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{H_{ПД}}}{T}}, \quad (12)$$

$$H_{ПД} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{H_{ПД}}}{T}} \quad (13)$$

где  $\mathcal{E}\mathcal{E}_{E_{ПД}}$  и  $\mathcal{E}\mathcal{E}_{H_{ПД}}$  – предельно допустимые значения энергетической экспозиции в течении рабочего дня,  $(В/м^2) \cdot ч$  и  $(А/м^2) \cdot ч$

Нормируемые значения приведенных параметров представлены в табл. 8.

Таблица 8

Максимальные значения  $E_{нд}$ ,  $H_{нд}$ ,  $\mathcal{E}\mathcal{E}$ 

Параметры	Диапазон частот, МГц		
	0,03...3	3...30	30...300
$E_{нд}$ , В/м	500	300	80
$H_{нд}$ , А/м	50	-	-
$\mathcal{E}\mathcal{E}_{E_{нд}}$ , (В/м <sup>2</sup> )·ч	20000	7000	800
$\mathcal{E}\mathcal{E}_{H_{нд}}$ , (А/м <sup>2</sup> )·ч	200	-	-

В диапазоне частот 300 МГц...300 ГГц интенсивность ЭМИ характеризуется плотностью потока энергии (ППЭ); энергетическая экспозиция представляет собой произведение плотности потока энергии поля на время его воздействия  $\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ} = \text{ППЭ} \cdot T$ .

Предельно допустимые значения ППЭ электромагнитного поля:

$$\text{ППЭ}_{\text{пд}} = \frac{k \cdot \mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ППЭ}}}{T}, \quad (14)$$

где  $k$  – коэффициент ослабления биологической эффективности, равный:

- 1: для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн;
- 10: для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн;
- 12,5: для случаев локального облучения кистей рук (при этом уровни воздействия на другие части тела не должны превышать 10 мкВт/см<sup>2</sup>);

$\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ППЭ}}$  – предельно допустимая энергетическая экспозиция, равная 2 Вт·ч/м;

$T$  – время пребывания в зоне облучения за рабочую смену, ч.

Во всех случаях максимальное значение ППЭ<sub>пд</sub> не должно превышать 10 Вт/м<sup>2</sup>, а при локальном облучении кистей рук – 50 Вт/м.

Предельно допустимые значения ППЭ электромагнитного поля приведены в табл. Д1 и Д2 приложения Д.

### **Контрольные вопросы.**

1. По какому показателю контролируются электромагнитные поля сверхвысокой частоты?

2. Принцип работы измерителя ПЗ-33М

3. Влияние электромагнитных полей, создаваемых СВЧ-печами, на организм человека.

4. Какое физическое явление, порождаемое электромагнитными источниками, оказывает наиболее негативное влияние на организм человека?

5. По каким критериям принято классифицировать электромагнитные волны?

6. Охарактеризуйте особенности негативного воздействия электромагнитного поля и их последствия для организма человека.

7. По какому показателю нормируются электромагнитные поля?

8. Опишите принцип действия измерителя плотности потока энергии «ПЗ-18».

## **9. ШУМОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Шумовое загрязнение – превышение естественного уровня шумового фона или ненормальное изменение звуковых характеристик: периодичности, силы звука и пр. Шумовое загрязнение приводит к повышенной утомляемости человека и животных, понижению производительности труда, физическим и нервным заболеваниям [28].

Таким образом, шумовое загрязнение это раздражающий шум антропогенного происхождения, нарушающий жизнедеятельность живых организмов и человека. Главным источником шумового загрязнения являются транспортные средства – автомобили, железнодорожные поезда и самолёты.

## 9.1. Влияние шума на окружающую среду и человека

Шум в 20 – 30 ДБ практически безвреден для человека и составляет естественный звуковой фон, без которого невозможна жизнь, допустимая граница до 80 ДБ, в 130 ДБ вызывает болевое ощущение, а достигнув 150 ДБ, становится для него непереносимым. Человек всегда жил в мире звуков, и абсолютная тишина его пугает, угнетает. При конструировании конструкторского бюро в Ганновере архитекторы предусмотрели все меры, чтобы ни один посторонний звук с улицы не проникал в здание: рамы с тройным остеклением, звукоизоляционные панели из ячеистого бетона и специальные пластмассовые обои, гасящие звук. Буквально через неделю сотрудники стали жаловаться, что не могут работать в условиях гнетущей тишины. Они нервничали, теряли работоспособность. Администрации пришлось купить магнитофон, который время от времени автоматически включался и создавал эффект «тихого уличного шума». Рабочая обстановка не замедлила восстановиться. Установлено, что звуки определенной силы стимулируют процесс мышления и в особенности процесс счета, звуки же имитирующие звук дождевых капель, падающих в ритме человеческого пульса (согласно японским исследованиям) быстро навевают сон. В настоящее время вместе с увеличением уровня производства и расширением технической деятельности человека прогрессивно растет уровень шумового загрязнения. Ущерб, который причиняет слуху сильный шум, зависит от спектра звуковых колебаний и характера их изменения. В первую очередь человек начинает хуже слышать высокие звуки, а затем постепенно и низкие. Постепенное воздействие сильного шума может не только отрицательно повлиять на слух, но и вызвать другие вредные последствия – звон в ушах, головокружение, головная боль, повышенная усталость, может стать причиной нервного истощения, психической угнетенности, вегетативного невроза, язвенной болезни, расстройства эндокринной и сердечно-сосудистой систем. Под влиянием шума может снижаться систолическое и повышаться диастолическое давление. При

этом колебания артериального давления нередко достигают 20 – 30 мм рт. ст. В электрокардиограмме обнаруживаются сдвиги: удлинение сердечного цикла и урежение частоты сердцебиений. Уменьшение амплитуды пульсовой волны свидетельствует о сужении кожных артерий [22, 23, 28].

Непрерывный сильный шум способен вызывать сужение периферических кровеносных сосудов, а также перераспределение крови, увеличение ее поступления к мышцам, мозгу и другим органам, играющим важную роль. Под влиянием шума возможно увеличение выделения адреналина и норадреналина из мозгового вещества надпочечника. Адреналин влияет на работу сердца, способствует выделению свободных жирных кислот в кровь. Чтобы вызвать подобный эффект у человека, достаточно подвергать его в течение коротких промежутков времени воздействию шума интенсивностью 60 – 70 дБА. Шум мешает людям работать и отдыхать, снижает производительность труда. Данные опроса показывают, что беспокоящее действие шума сказывается больше на людях, занятых умственным трудом, чем на работающих физически (соответственно 60,2 и 55,0%). Большое количество жалоб лиц умственного труда, по-видимому, связано с большим утомлением нервной системы. Основные закономерности деятельности коры головного мозга и механизм воздействия на центральную нервную систему были изучены великими физиологами И.М. Сеченовым и И.А. Павловым. Поступающие в кору при действии шума раздражения всегда приводят к перестройке протекающих в ней нервных процессов. Если шум отличается чрезмерной силой или действует в течение длительного времени, наступает перевозбуждение клеток коры угрожающее их истощением. В этом случае нарушается предел работоспособности нервных клеток и изменяется характер ответной реакции этих клеток на падающие на них раздражения. Вместо обычно наблюдаемого усиления реакции при увеличении силы раздражителя реакция либо вовсе не наступает, либо извращается на сильный раздражитель может быть меньшей, чем на слабый. Такое состояние коры, называемое «фазовым», свидетельствует о развитии в ней пассивного или охранительного торможения, предохраняющего клетки от дальнейшего истощения. Шум вызывает

даже при кратковременном воздействии выраженные изменения условно рефлекторной деятельности, а именно: нарушение внутреннего торможения, удлинение скрытого периода и снижение величины рефлекса. Даже младенцы в чреве матери не ограждены от вредного влияния шума. У кроликов, подвергавшихся действию шума в 102 дБА в течение 10 недель, были обнаружены более высокий уровень холестерина в крови и более развитая форма атеросклероза аорты, чем у животных, находившихся на таком же рационе, но не испытывавших действия шума. Отложения холестерина в радужной оболочке были также более обширными у животных, подвергавшихся действию шума.

Шум превращающий 80 – 90 дБА, влияет на выделение большинства, гормонов гипофиза, контролирующих выработку других гормонов. В частности может возрасти выделение, кортизона из коры надпочечника. Кортизон обладает свойством ослаблять возможности печени бороться с вредными для организма веществами, в том числе с теми, которые способствуют возникновению рака. Под влиянием, шума с уровнем 85 дБА обнаружена перестройка энергетического обмена в мышечной ткани причем направленность перестройки зависела от времени воздействия. Шум препятствует новообразованию богатых энергией фосфатных связей, которое зависит от состояния процессов окислительного фосфорилирования. Шум производственного характера при длительном воздействии на крыс вызывает угнетение основного звена образования энергии в клетке – окислительного фосфорилирования в митохондриях. Этот факт указывает на возможность использования данного показателя в качестве биологического критерия вредного действия шума на организм. При мышечной активности энергетические затраты организма увеличиваются и мышца при выполнении механической работы усиленно использует АТФ. При физическом напряжении в условиях шума нарушения интимных процессов энергетического обмена мышц, будут усугубляться и это скажется на сократительной активности мышечной системы. Недаром в средние века существовала казнь – «под колокол»: колокольный звон убивал человека. Борьба с шумом, является комплексной проблемой. В статье 12 закона «Об охране атмосферного воздуха» отмечается, что «в целях борьбы с производственными и иными шумами должны в

частности, осуществляться внедрение малошумных технологических процессов, улучшение планировки и застройки городов и других населенных пунктов, организационные мероприятия по предупреждению и снижению бытовых шумов». Уменьшение шума в источниках его образования является наиболее эффективной мерой борьбы с ним, поэтому при проектировании и выборе станков, машин, установок (вентиляторов, компрессоров, насосов и т. д.) необходимо учитывать режим их работы и акустические характеристики. Так, значительно уменьшить шум можно использованием вентилятора с небольшой частотой вращения. Увеличение шума часто происходит от дефектов, возникающих при эксплуатации механического оборудования: нарушения балансировки вращающихся элементов, недопустимого износа деталей, плохой смазки и т. п. [28].

## **9.2. Защитные мероприятия от воздействия повышенных уровней шума**

Для уменьшения вибрации механическое оборудование устанавливают на фундаменты с амортизирующими прокладками. Вентиляторы и насосы, например, укрепляют на пружинных виброизоляторах. Фундамент для стационарно установленного оборудования нужно располагать на грунте изолированно от строительных конструкций. Для тяжелого механического оборудования это требование обязательно [28].

Если позволяют технологический процесс и условия эксплуатации, оборудование заключают в кожухи, покрытые внутри звукопоглощающими материалами, например пенополиуретаном. Кожухи устанавливают на резиновых прокладках, не допуская соприкосновения его с оборудованием. Чтобы уменьшить вибрацию от привода оборудования, стенки кожуха покрывают вибродемпфирующим материалом. В зависимости от вида машины кожухи могут быть стационарными съемными и разборными, они могут иметь смотровые окна и проемы для коммуникаций или для прохождения воздуха, охлаждающего закрываемое кожухом оборудование. В этих случаях отверстия следует снаб-

жать глушителями шума, например щелевидными, из звукопоглощающего материала; Кожухи со звукопоглощающими покрытиями делают не только на стационарно установленном оборудовании, но и на передвижных установках и в транспорте. В автомобилях звукопоглощающими материалами покрывают стенки, днище, багажник и место расположения двигателя. При этом шум уменьшается не только в салоне или в кабине водителя, но и в окружающей среде – именно эту функцию выполняет звукопоглощающее покрытие капота, применяющееся в некоторых конструкциях автомобилей. При проектировании промышленных предприятия и гражданских зданий оборудование, являющееся источником шума, размещают в изолированных помещениях. Для уменьшения интенсивности отраженных звуковых волн с целью снижения шума производят акустическую обработку помещений. Чтобы предотвратить отражение звука, потолок, стены и перекрытия покрывают звукопоглощающей облицовкой. Площадь облицовки определяют расчетом. Если полученная в результате расчета площадь недостаточна для снижения уровня звукового давления, вместо облицовки, потолка и над отдельными источниками устраивают штучные звукопоглотители или устанавливают экраны между источником шума и защищаемым местом и резко ухудшает шумовой климат в жилых районах. Сильным источником шума являются также компрессорные станции. Для снижения шума на выхлопе компрессорных и малых газодинамических установок устанавливают вертикальные трубчатые глушители. Для глушения шума, создаваемого при срабатывании воздуха в атмосферу из крупных компрессоров, например К-500, наиболее прост и надежен в работе глушитель бутовокамерного типа. Выполнен глушитель в виде камеры, погруженной на глубину 3250 мм в землю. Стены камеры кирпичные, пол и потолок - железобетонные. Внутри камеры на швеллерах установлены две стальные решетки, покрытые слоем бута. В нижнюю зону глушителя введена перфорированная труба, по которой поступает сжатый воздух от компрессора [22, 23, 28].

### **Контрольные вопросы.**

1. Как воздействует шум на организм человека?
2. Источники шумового загрязнения?
3. Каким образом нормируется шум?
4. Каким образом можно оценить шумовое загрязнение территорий?
5. Какие есть способы борьбы с шумом?

## **10. ВИБРАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

### **10.1. Негативное воздействие вибраций на человека и окружающую среду и ее нормирование**

Вибрация относится к вредным факторам, обладающим высокой биологической активностью. Действие вибрации на человека зависит от частоты и уровня вибрации, продолжительности воздействия, места приложения вибрации, направления оси вибрационного воздействия, индивидуальных способностей организма человека воспринимать вибрацию, условий возникновения резонанса и ряда других условий. Колебательные процессы присущи живому *организму*, в частности человеку – ритмичные колебания сердца, крови, биотоков мозга. Внутренние органы человека (печень, почки, желудок, сердце и т. д.) можно рассматривать как колебательные системы с упругими связями. Собственная частота внутренних органов  $f_0 = 3...6$  Гц. Собственная частота головы человека относительно плечевого пояса – 25...30 Гц, относительно основания, на котором находится человек – 4...6 Гц. При отпадении собственных частот

внутренних органов человека и остальных частей его тела с частотой вынужденной вибрации возникает явление *резонанса*, при котором резко возрастает амплитуда колебаний органов и частей тела. При этом могут возникнуть болевые ощущения в отдельных органах (которые, например, могут наблюдаться при длительной езде по ухабистой дороге на машине с плохой амортизацией), а при очень высоких уровнях вибрации – даже травмы, разрывы связок, артерий. Явление резонанса для человека возникает при низкочастотной вибрации. Колебания с частотой менее 0,7 Гц получили название качки. Качка не вызывает серьезных нарушений в организме человека, но происходят нарушения в вестибулярном аппарате человека, а у людей со слабым вестибулярным аппаратом может возникнуть так называемая морская болезнь, при которой возникает головокружение, тошнота, рвота. После прекращения качки это состояние через некоторое время исчезает [23].

При частотах вибрации менее 16 Гц кроме явления резонанса у человека возникает подавленное состояние, чувство страха тревоги, угнетается центральная нервная система.

Технологическое оборудование ударного действия (молоты и прессы), мощные энергетические установки (насосы, компрессоры, двигатели), рельсовый транспорт предприятий и коммунального хозяйства (метрополитен, трамвай), а также железнодорожный транспорт относятся к источникам вибрации. Во всех случаях вибрации распространяются по грунту и достигают фундаментов общественных и жилых зданий, часто вызывая звуковые колебания. Передача вибраций через фундаменты и грунт может способствовать их неравномерной осадке, приводящей к разрушению расположенных на них инженерных и строительных конструкций. Особенно это, опасно для грунтов, насыщенных влагой. Источником вибрации может быть инженерное оборудование зданий (лифты, насосные установки), системы отопления, канализации, мусоропроводов.

Во всех случаях вибрации вызывают раздражающее действие либо помехи для трудового процесса в общественных зданиях. Протяженность зоны воздействия вибраций в окружающей среде определяется величиной их затухания

в грунте, которая, как правило, составляет 1 дБ/м (в водонасыщенных грунтах это затухание несколько больше). Чаще всего на расстоянии 50 – 60 м от магистралей рельсового транспорта вибрации практически затухают. Применительно к оборудованию кузнечно-прессовых цехов зона действия вибраций значительно больше, и для молотов с облегченными фундаментами она может составлять до 150 – 200 м.

*Нормирование вибраций.* Допустимые уровни вибрации в жилых домах, условия и правила их измерения и оценки регламентируются СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [29].

Основные нормируемые параметры вибрации – среднеквадратичные величины  $L_v$  (дБ) уровней виброскорости (виброускорения  $L_a$  (дБ)) в октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот 2; 4; 8; 16; 31,5 и 63 Гц:

$$L_v = 20 \lg \frac{v}{v_0}, \quad (15)$$

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{a_0}, \quad (16)$$

где  $v$  – среднеквадратичная виброскорость, м/с;  $v_0$  – пороговая виброскорость, равная  $5 \cdot 10^{-8}$  м/с. Пороговая величина виброускорения  $a_0$  равна  $3 \cdot 10^{-4}$  м/с<sup>2</sup>.

В нормативные уровни вносят поправки на характер вибрации и длительность ее воздействия, а также время суток. При этом постоянной считают вибрацию, уровень которой при измерении прибором с характеристикой «медленно» в течение не менее 10 мин изменяется на  $\pm 3$  дБ. Для временных вибраций (например, при проведении строительных работ) допускается в дневное время вводить дополнительную поправку, равную +10 дБ.

## 10.2. Методы и средства защиты от вибраций

Для исключения воздействия вибраций на окружающую среду необходимо принимать меры по их снижению, прежде всего в источнике возникновения или, если это невозможно, на путях распространения [22, 23, 28].

Снижение вибраций в источнике производится как на этапе проектирования, так и при эксплуатации. При создании машин и технологического оборудования предпочтение должно отдаваться кинематическим и технологическим схемам, исключая или предельно снижающим динамические процессы, вызванные ударами, резкими ускорениями и т. п.

Причиной низкочастотных вибраций насосов, компрессоров, двигателей является дисбаланс вращающихся элементов (роторов), вызванный неоднородностью материала конструкции (литейные раковины, шлаковые включения) и неравномерностью его плотности, несимметричным распределением вращающихся масс (начальное искривление валов и роторов), нарушением указанной симметрии крепежными соединениями, неправильным выбором допусков на обработку и рода посадок, а также различием коэффициентов объемного расширения или износостойкости отдельных элементов вращающейся системы. Во всех случаях смещение центра масс относительно оси вращения приводит к возникновению неуравновешенной центробежной силы  $F$ :

$$F = me\omega^2, \quad (17)$$

где  $m$  – масса вращающейся системы;

$\omega$  – угловая скорость вращения;

$e$  – эксцентриситет (радиус-вектор) центра рассматриваемой массы относительно оси ротора.

Действие неуравновешенных динамических сил усугубляется плохим креплением деталей, их износом в процессе эксплуатации.

Для снижения уровня вибраций, возникающих из-за дисбаланса оборудования при монтаже и эксплуатации, должна применяться балансировка неуравновешенных роторов колес лопаточных машин, валов двигателей и т. п. В процессе эксплуатации технологического оборудования должны приниматься меры к устранению излишних люфтов и зазоров, что обеспечивается периодическим освидетельствованием источников вибрации – машин и механизмов.

Весьма эффективный метод снижения вибрации в источнике – исключение резонансных режимов работы оборудования. В этом случае даже при малых значениях дисбаланса и относительно небольших возбуждающих воздействиях уровень вибрационных параметров резко возрастает. Для снижения уровня производственных вибраций важно исключить резонансные режимы работы технологического оборудования. При проектировании это достигается выбором рабочих режимов с учетом собственных частот машин и механизмов. В процессе эксплуатации возможно уменьшить жесткость агрегатов, а в некоторых случаях и их массы, что приводит к изменению значения собственных частот. Возможно изменение рабочих режимов оборудования. Все это следует учитывать, если машины и механизмы в процессе эксплуатации со временем становятся источником вибраций.

Учитывая, что собственная частота колебательной системы:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{b}{m}}, \quad (18)$$

где  $b$  и  $m$  – соответственно жесткость и масса системы, изменяя любую из этих характеристик, можно исключить режим резонанса.

Если не удастся снизить вибрации в источнике возникновения, то применяют методы снижения вибраций на путях распространения, это – виброгашение, виброизоляция или вибродемпфирование.

*Виброгашение.* Использование этого метода связано с увеличением реактивной части импеданса колебательной системы. Виброгашение реализуется при увеличении эффективной жесткости и массы корпуса машин или станин станков за счет их объединения в единую замкнутую систему с фундаментом с помощью анкерных болтов или цементной подливки. С этой же целью относительно малогабаритное инженерное оборудование жилых зданий (вентиляторы, насосы) устанавливаются на опорные плиты и виброгасящие основания. Следует иметь в виду, что колебания сварных фундаментов в 2 раза ниже, чем ленточных. Расчет фундаментных блоков производят по специальным методикам. Проектирование оснований зданий и сооружений ведут в соответствии с нормативными документами.

Снижение вибраций, создаваемых рельсовым транспортом, обеспечивается укладкой и креплением рельсов на массивные железобетонные шпалы.

*Виброизоляция.* Методы установки оборудования на фундамент требуют больших затрат времени и приводят к неизбежной порче дорогостоящих покрытий полов. К тому же фундаменты таких машин, как молоты, представляют собой сложные строительные сооружения высотой с трех-, четырехэтажный дом, стоимость которых может на порядок превышать стоимость машины. Поэтому на этапе эксплуатации промышленных комплексов в основном используют установку оборудования без фундамента непосредственно на виброизолирующих опорах. Такой метод позволяет обеспечить любую степень виброизоляции оборудования. Установка на виброизолирующие опоры технологического и инженерного оборудования удешевляет его монтаж, исключает порчу оборудования и снижает уровень шума, сопутствующий интенсивным вибрациям. Такие опоры могут применяться также и при наличии фундаментов: либо между источником вибраций (машиной) и фундаментом (основанием, опорной плитой), либо между фундаментом и грунтом. Установка виброизоляторов предусматривается также при прокладке воздухопроводов систем вентиляции и разного рода трубопроводов внутри строительных конструкций. Это исключает передачу вибраций от стенок воздухопроводов и трубопроводов элементам конструкции

зданий. Для ограничения распространения колебаний практикуют разделение инженерных коммуникаций на отдельные участки с помощью специальных гибких вставок. Во всех рассмотренных случаях введение в колебательную систему дополнительной гибкой связи приводит к ослаблению передачи вибрации от источника колебаний.

В качестве виброизоляторов повсеместно используют резиновые или пластмассовые прокладки, одиночные или составные цилиндрические пружины, листовые рессоры, комбинированные виброизоляторы (пружинно-резиновые, пружинно-пластмассовые, пружинно-рессорные) и пневматические виброизоляторы (воздушные подушки). Виброизолирующие резиновые прокладки выполняют обычно со сквозными или полусквозными отверстиями или оребренными, поскольку резина не склонна к объемной деформации.

Для исключения передачи вибраций от фундаментов технологического оборудования предприятий в жилую застройку по периметру фундаментов на всю его высоту предусматривают акустические швы с засыпкой какого-либо рыхлого материала, например асбестовой крошки. К мероприятиям аналогичного назначения относят устройства акустических щелей, в которых изолирующей прослойкой служит воздух.

Полы на упругом основании из минераловатных плит или резиновых виброизоляторов позволяют снизить колебания в диапазоне частот 31,5—63 Гц в 1,5 – 2,5 раза. Большое снижение вибраций достигается в перекрытиях с засыпкой и беспустотным полом.

Выбор виброизоляции можно вести в определенной последовательности. Выбирают конкретный тип виброизоляторов с известными допустимыми нагрузками и жесткостными характеристиками и определяют значения собственных частот виброизолированной установки. Для известных значений частот со возмущающих сил и моментов рассчитывают (43) соответствующие значения КП и сопоставляют с требуемыми значениями.

*Вибродемпфирование.* В основе данного метода лежит увеличение активных потерь в колебательных системах. В качестве основной характеристики

вибродемпфирования принят коэффициент потерь энергии. Вибродемпфирование может быть реализовано в машинах с интенсивными динамическими нагрузками применением материалов и большим внутренним трением, чугунов с малым содержанием углерода и кремния, сплавов цветных металлов.

Большие возможности для защиты от вибраций имеют вибродемпфирующие покрытия. Их применяют для снижения колебаний, распространяющихся по трубопроводам и газопроводам компрессорных станций, воздухопроводом систем вентиляции административных зданий. Для примера в табл. 9 представлены некоторые виды вибродемпфирующих покрытий [28].

Таблица 9

Вибродемпфирующие покрытия

Покрытия мастичные	Коэффициент потерь энергии $\eta$ (для $f=1000$ Гц)	Покрытия листовые	Коэффициент потерь энергии $\eta$ (для $f=1000$ Гц)
Пластик № 378	0,45	Пенопласт ПХВ-Э	0,85
Мастика А-2	0,40	Волосяной войлок	0,23
ВД-17-58	0,44	Поролон	0,22
ВД-17-59	0,30	Минераловатная плита	0,04
ВД-17-63	0,40	Губчатая резина	0,15
Пластикат «Агат»	0,46	Винипор технический	0,40
ВПМ 1	0,18	Радуга	0,30
ВПМ 2	0,22	Фольгоизол	0,27
Антивибрит М	0,20		
Адем-НШ	0,25		

**Контрольные вопросы.**

1. Что такое вибрация?
2. Влияние вибрации на окружающую среду и человека.
3. Нормирование вибрации.
4. Как изменяется уровень виброускорения и виброускорение от расстояния до источника и от чего зависит?
5. Методы и средства снижения вибрации.

## 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 [Текст] / Е.М. Агашков, Т.И. Белова, В.И. Гаврищук и др. // Научно-педагогические проблемы транспортных учебных заведений. – М.: МИИТ, 2011. – Выпуск 3. – С. 11 – 16.
4. Обеспечение условий труда работающих пищевых концентратных производств созданием системы пылеудаления-пылезащиты: монография [Текст] / Т.И. Белова, Е.М. Агашков, В.И. Гаврищук, Д.П. Санников. – Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет - УНПК», 2014. – 134 с.
5. Штокман, Е.А. Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности [Текст] / Е.А. Штокман. – М.: Пищевая промышленность, 1989. – 304 с.
6. Коузов, П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов [Текст] / А.П. Коузов. – М.: Химия, 1971. – 279 с.
7. Инструкция по проведению анализа дисперсного состава пыли седиментационным методом в жидкой среде [Текст]. – Л.: ВНИИОТ, 1965. – 52 с.
8. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: учебное пособие для вузов [Текст] / А.Г. Ветошкин. – М.: Высш. шк., 2008. – 640 с.
9. Чистые помещения. Проблемы. Теория. Практика [Текст] / Под ред. А.Е. Федотова. – М.: АСИНКОМ, 2003. – 576 с.
10. ГОСТ Р ИСО 14644-1-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды [Текст]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 17 с.

11. 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.
12. Полтев, М.К. Охрана труда в машиностроении: учебник [Текст] / М.К. Полтев. – М.: Высш. шк., 1980. – 294 с.
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. Кравченко // 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.
15. 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.
16. 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.
17. Руководство 2.2.7659-99 Методика контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
18. Ливчак, И.Ф. Охрана окружающей среды [Текст] / И.Ф. Ливчак, Ю.В. Воронов, Е.В. Стрелков. М.: Колос, 1995. – с. 156.
19. Богдановский, Г.А. Химическая экология: учебное пособие [Текст] / Г.А. Богдановский. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 253 с.
20. Васильев, В.П. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа. Ч.2 [Текст] / В.П. Васильев. – М.: Высшая школа, 1989. – 352 с.
21. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах [Текст]. – Л.: Гипрометеоиздат, 1987.

22. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности. Уч. пособие для ВУЗов [Текст] / С.В. Белов // М.: «Высшая школа». – 2007. – 616с.
23. Русак, О.Н. Безопасность жизнедеятельности. Учебное пособие [Текст] / О.Н. Русак, Н.Г. Занько, К.Р. Малаян. – СПб.: Лань, 2007. – 448 с.
24. ГОСТ Р 50723-94 Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий [Текст]. – 34 с.
25. СанПиН 5804-91 Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров [Текст]. – 30 с.
26. Красильникова Э.М. Оценка электрических полей промышленной частоты как стресс-фактора [Текст] / Э.М. Красильникова // Электробезопасность. – 1996. - № 1, с 5-11.
27. Ситчихин, Ю. В. Эффективность средств и мер, обеспечивающих безопасность в электроустановках [Текст] / Ю.В. Ситчихин // Электробезопасность.-1997.-N 1.- С. 20-24.
28. Охрана окружающей среды: Учеб. для техн. спец. Вузов [Текст] / С.В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козьяков и др. Под ред. С.В. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
29. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – 47 с.
30. Белова, Т.И. Системы защиты среды обитания. Исследования параметров пылеудаления воздуха рабочей зоны: лабораторный практикум для высшего профессионального образования [Текст] / Т.И. Белова, В.И. Гаврищук, Е.М. Агашков, Д.П. Санников. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2012. – 65 с.
31. Белова, Т.И. Промышленная экология. Исследования параметров удаления и очистки воздуха: лабораторный практикум для высшего профессионального образования [Текст] / Т.И. Белова, В.И. Гаврищук, Е.М. Агашков, Т.А. Дмитриевская. – Брянск: ФГБОУ ВПО Брянская ГСХА, 2014. – 118 с.

32. Шушпанов, А.Г. Определение плотности потока энергии электромагнитного поля, излучаемого мобильными телефонами [Текст] / А.Г. Шушпанов, А.В. Абрамов. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – 24 с.
33. Руководство по эксплуатации шумомера, анализатора спектра Алгоритм-01 (Алгоритм-01-001РЭ) [Текст]. – М.: ЗАО «Алгоритм-Акустика», 2011. – 96 с.
34. Руководство по эксплуатации виброметра, анализатора спектра Алгоритм-02 (Алгоритм-02-001РЭ) [Текст]. – М.: ЗАО «Алгоритм-Акустика», 2011. – 94 с.
35. Захарченко Г.Д. Основы радиационной безопасности: Методические указания к практическим работам/ Т.В. Панова, М.В. Панов, Г.Д. Захарченко – Брянск: Брянский ГАУ .- 2015.- с.111.
36. Белова, Т.И. Обеспечение условий труда работающих пищекокцентратных производств созданием системы пылеудаления-пылезащиты Монография.- Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», 2014. – 138 с.
37. Белова, Т.И. Сравнительная оценка АРМ-СОУТ и биологический фактор [Текст] /В.Е. Бурак, С.А. Донцов//Социально-экономические и правовые основы развития экономики.-Коллективная монография [под ред. И.В. Тропченко].-Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2015.-74-85с.
38. Белова, Т.И. Расчет параметров естественной вентиляции при разработке средств индивидуальной защиты [Текст] /Т.И. Белова, М.В. Родичева, А.В. Абрамов и др. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - ОрелГТУ.-Орел, 2011.-3(287).- С.120-122.

**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	$f(C_K / \mu_G)$		Практически не влияет		При $d_T < 0,3$ мм $f(C_K T_G / \mu_G)$ ; при $d_T > 0,3$ мм $f(C_K / \mu_G)$	$f(C_K / \mu_G)$
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 $C_K = \frac{n_{II} e \rho_G d_T}{12 \varepsilon_0 E}$
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;  $T_T$ ,  $\mu_T$ ,  $\rho_T$  - температура, динамическая вязкость и плотность воздуха

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

### Определение группы дисперсности пь

220

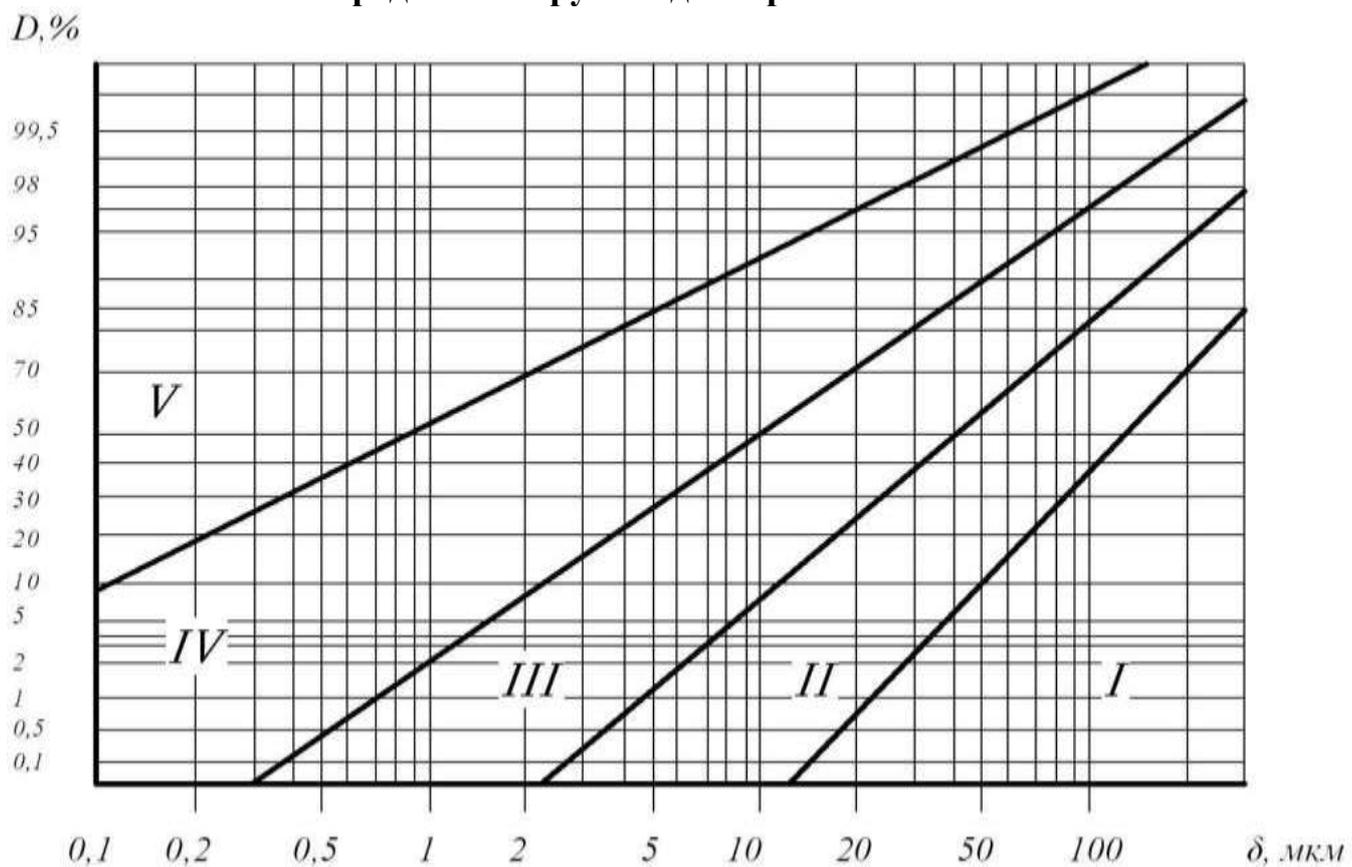


Рис. Б.1. Номограмма для определения группы дисперсности пыли

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

*Таблица Г1*

Подразделение пылеуловителей по нижнему пределу размеров частиц пыли

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

### Предельно допустимые значения уровней электромагнитных полей радиочастотного диапазона

Таблица Д 1

Предельно допустимые значения энергетической экспозиции

Диапазон частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция		
	по электрической составляющей	по магнитной составляющей	по плотности потока энергии
	$(В/м)^2 \cdot ч$	$(А/м) \cdot ч$	$(мкВт/см^2) \cdot ч$
30 кГц ÷ 3 МГц	20000	200	-
3 ÷ 30 МГц	7000	Не разработаны	-
30 ÷ 50 МГц	800	0,72	-
50 ÷ 300 МГц	800	Не разработаны	-
300 МГц ÷ 300 ГГц	-	-	200

*Примечание:* во всех случаях при указании диапазонов частот каждый диапазон исключает нижний и включает верхний предел частоты

Таблица Д 2

Предельно допустимые плотности потока энергии в диапазоне частот 300 МГц–300 ГГц в зависимости от продолжительности воздействия

Продолжительность воздействия Т, ч	П <sub>пду</sub> , мкВт/см <sup>2</sup>
8,0 и более	25
7,5	27
7,0	29
6,5	31
6,0	33
5,5	36
5,0	40
4,5	44
4,0	50
3,5	57
3,0	67
2,5	80
2,0	100
1,5	133
1,0	200
0,5	400
0,25	800
0,2 и менее	1000

*Примечание:* при продолжительности воздействия меньше 0,2 часа дальнейшее повышение интенсивности воздействия не допускается.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(справочное)

### Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука и шума на территории жилой застройки

*Таблица Е1*

Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука и шума на территории жилой застройки

№ пп	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)	Максимальные уровни звука $L_{A-макс}$ , дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев	с 7 до 23 ч.	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
		с 23 до 7 ч.	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
2	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданиям амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек	с 7 до 23 ч.	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
		с 23 до 7 ч.	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
3	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	с 7 до 23 ч.	93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75
		с 23 до 7 ч.	86	71	61	54	49	45	42	40	39	50	65
4	Площадки отдыха на территории больниц и санаториев		76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50

*окончание табл. Е1*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и др. учебных заведений		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(справочное)

### Допустимые значения вибрации

Таблица Ж1

Допустимые значения вибрации в жилых помещениях, палатах больниц, санаториев

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Допустимые значения			
	виброускорения		виброскорости	
	$\text{м/с}^2 \cdot 10^{-2}$	дБ	$\text{м/с} \cdot 10^{-4}$	дБ
2	4,0	72	3,2	76
4	4,5	73	1,8	71
8	5,6	75	1,1	67
16	11,0	81	1,1	67
31,5	22,0	87	1,1	67
63	45,0	93	1,1	67
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	4,0	72	1,1	67

*Примечания.* 1. В дневное время в помещениях допустимо превышение нормативных уровней на 5 дБ.  
2. Для непостоянной вибрации к допустимым значениям уровней вводится поправка – 10 дБ, а абсолютные значения умножаются на 0,32.  
3. В палатах больниц и санаториев допустимые уровни вибраций нужно снижать на 3 дБ.

Таблица Ж1

Допустимые значения вибрации в административно-управленческих помещениях и в помещениях общественных зданий

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Допустимые значения			
	виброускорения		виброскорости	
	$\text{м/с}^2 \cdot 10^{-2}$	дБ	$\text{м/с} \cdot 10^{-3}$	дБ
2	10,0	80	0,79	84
4	11,0	81	0,45	79
8	14,0	83	0,28	75
16	28,0	89	0,28	75
31,5	56,0	95	0,28	75
63	110,0	101	0,28	75
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	10	80	0,28	75

*Примечания:* 1. Для непостоянной вибрации к допустимым значениям уровней вводится поправка – 10 дБ, а абсолютные значения умножаются на 0,32.  
2. Для помещений школ, учебных заведений, читальных залов библиотек вводится поправка – 3 дБ.

Учебное издание

Т.И. Белова, Е.М. Агашков, А.Г. Шушпанов

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ПРО-  
ИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

Учебное пособие  
для самостоятельной работы обучающихся  
по направлениям подготовки  
20.03.01 Техносферная безопасность и  
20.06.01 Техносферная безопасность

Редактор Осипова Е.Н.

---

Подписано к печати \_\_\_\_\_ Формат 60x84 1/16.  
Бумага печатная. Усл. п. л. \_\_\_\_\_. Тираж 25 экз. Изд. № \_\_\_\_\_

---

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