

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

**Цель работы:** ознакомление с вредным действием пыли на организм человека, влиянием ее на качество и надежность электронных изделий и приборов, требованиями санитарных и технологических норм на ПДК пыли в воздухе рабочей зоны; изучение методов и приборов для измерения запыленности и дисперсного состава пыли в производственных помещениях.

### 1. Методические указания

**Основными загрязнителями** воздушной среды внутри помещения являются: пыль, проникающая снаружи через неплотности оконных и дверных проемов; пыль, вносимая персоналом на одежде и обуви, на деталях, материалах и инструментах, а также при ремонтных работах; пыль и ворс технологической одежды; частицы, образующиеся в результате разрушения или изнашивания материалов; частицы, выделяемые при выполнении технологических процессов и т.п.

**Аэрозолями** или аэродисперсными системами называются дисперсные системы с газообразной (дисперсионной) средой и с твердой или жидкой дисперсной фазой [1].

Размер аэрозольных частиц определяет их способность проникать в дыхательные пути и задерживаться там. Наибольшую опасность для легких человека представляют частицы мелкодисперсной пыли размером 0,2-5,0 мкм (так называемой респирабельной фракции), которые проникают в глубокие дыхательные пути, в альвеолы, частично или полностью растворяются в лимфе и, поступая в кровь, вызывают интоксикации. Частицы размером более 10 мкм осаждаются в верхних дыхательных путях и практически не достигают альвеол легких. Большая группа аэрозолей не обладает выраженной токсичностью, но имеет фиброгенный эффект действия на организм, вызывающий пневмокониозы, пневмосклерозы и пылевые бронхиты. К ним относятся аэрозоли дезинтеграции угля, аэрозоли кокса, саж, алмазов, углеводородных волокнистых материалов, силикатсодержащие и кремнийсодержащие пыли, аэрозоли животного и растительного происхождения. Вещества этой группы вызывают атрофию или гипертрофию слизистой верхних дыхательных путей, а задерживаясь в легких, вызывают развитие соединительной ткани и рубцевание (фиброз) легких.

Профессиональные заболевания, связанные с воздействием фиброгенных пылей занимают второе место по частоте профессиональных заболеваний в России.

Наличие фиброгенного эффекта не исключает общетоксического воздействия аэрозолей. К ядовитым пылям относят аэрозоли бериллия, мышьяка, свинца, ДДТ, триоксид хрома и др. Такие аэрозоли помимо местных изменений в дыхательных путях вызывают острое или хроническое отравление.

Нормирование допустимых концентраций токсических веществ и веществ преимущественно фиброгенного действия в воздухе производственных помещений, исходя из санитарно-гигиенических норм, установлено ГОСТ 12.1.005-88 "ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны".

Технологические требования к воздуху (технологическая гигиена) устанавливаются ГОСТ Р 50766-95 "Требования к технологически чистым помещениям и зонам".

Исходя из санитарно-гигиенических требований в воздухе рабочей зоны производственных помещений устанавливаются ПДК - предельно допустимые концентрации вредных веществ и пыли. Это концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или при другой продолжительности, но не более 41 часа в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Рабочей зоной называют пространство, ограниченное по высоте 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или непостоянного (временного) пребывания работающих. Для определения содержания пыли в воздухе отбор проб должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях с учетом основных технологических процессов, источников выделения вредных веществ и функционирования технологического оборудования. При наличии идентичного оборудования или выполнении одинаковых операций контроль проводится выборочно на отдельных рабочих местах, расположенных в центре и по периферии помещения.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны подлежит систематическому контролю для предупреждения возможности превышения предельно допустимых концентраций - максимально разовых рабочей зоны (ПДК<sub>мр.рз</sub>) и среднесменных рабочей зоны (ПДК<sub>сс.рз</sub>).

При контроле ПДК<sub>мр.рз</sub> длительность отбора пробы при определении токсических веществ не должна превышать 15 мин, а для веществ преимущественно фиброгенного действия - не должна превышать 30 мин. За указанный период времени может быть отобрана одна или несколько последовательных проб через равные промежутки времени. В течении смены и (или) на отдельных этапах технологического процесса в одной точке должно быть последовательно отобрано не менее трех

проб. Для аэрозолей преимущественно фиброгенного действия допускается отбор одной пробы.

Периодичность контроля ПДК<sub>мр.рз</sub> устанавливается в зависимости от класса опасности вредного вещества: для I класса – не реже раза в 10 дней, II класса - не реже раза в месяц, III и IV классов - не реже раза в квартал. При возможности поступления в воздух рабочей зоны вредных веществ с остронаправленным механизмом действия должен быть обеспечен непрерывный контроль с сигнализацией о превышении ПДК. Если установлено соответствие содержания вредных веществ III и IV классов опасности уровню ПДК допускается проводить контроль не реже 1 раза в год.

Среднесменные концентрации определяют для веществ, для которых установлен норматив – ПДК<sub>сс.рз</sub>. Измерения проводят приборами индивидуального контроля, либо по результатам отдельных измерений. Обследование осуществляется на протяжении не менее чем 75 % продолжительности смены в течение не менее 3 смен. Периодичность контроля за соблюдением среднесменной ПДК должна быть не реже кратности проведения периодических медицинских осмотров.

Предельно допустимые концентрации аэрозолей преимущественно фиброгенного действия приведены в Прил. 1.

Различают следующие концентрации аэрозольных частиц:

массовая - масса аэрозольных частиц в единице объема воздуха, измеряется в мг/м<sup>3</sup>;

объемная - объем аэрозольных частиц в единице объема воздуха, измеряется в м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

поверхностная - суммарная поверхность аэрозольных частиц в единице объема воздуха, измеряется в м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;

счетная - число аэрозольных частиц в единице объема воздуха, выражается числом частиц, содержащихся в 1 м<sup>3</sup> воздуха.

Учитывая, что вредное действие при работе человека в запыленной атмосфере определяется массой пыли, осевшей в органах дыхания, в основу санитарно-гигиенического нормирования содержания пыли в воздухе промышленных предприятий положена массовая концентрация.

Предельно допустимая счетная концентрация аэрозольных частиц применяется для оценки степени чистоты технологически чистых помещений и чистых зон (ЧП и ЧЗ). В соответствии с нормами отечественных стандартов (ГОСТ Р 50766-95) в воздушной среде чистых помещений и чистых зон счетная концентрация аэрозольных частиц и, при необходимости, число микроорганизмов в воздушной среде поддерживаются в пределах не выше заданного, соответствующего определенному классу чистоты. Класс чистоты обозначается следующим образом:

<b>Класс Р</b>	<u><b>X</b></u>	<u><b>(XXX)</b></u>	<u><b>XX</b></u>	<u><b>МК</b></u>	<u><b>(X)</b></u>
	1	2	3	4	5

1 - классификационное число  $N$  из таблицы 1; 2 - в скобках может добавляться ранее принятое обозначение класса чистых помещений в соответствии с требованиями ОСТ 11.14.3302 (дано в приложении 2); 3 - минимальный размер частиц в мкм, по которому определялась счетная концентрация частиц и который выбирается из ряда 0,1 0,2 0,3 0,5 (опускается при минимальном размере 0,5 мкм); 4 - элемент, обозначающий проведение контроля микробного загрязнения; 5 - обозначение подкласса "А" или "Б" (применяется только для помещений с классификационным числом  $N = 5$ ).

Например : **Класс P 5 (100) 0,3 МК (А).**

Подкласс "А"- с предельным допустимым количеством микроорганизмов не более 1 на кубический метр воздуха, а подкласс "Б"- не более 5 на кубический метр воздуха.

Предельно допустимая счетная концентрация аэрозольных частиц  $C_n$  с размерами равными и большими, чем определенный размер  $D$ , для классификационного числа  $N$  задается выражением:

$$C_n = 10^N \cdot (0,1/ D)^{2,08}$$

и округляется до целого числа (здесь  $D$  - размер частиц в мкм).

Таблица 1

Классификационное число $N$	Предельно допустимая счетная Концентрация частиц $C_n$ (частиц/м <sup>3</sup> ) Размером равным и превышающим $D$ (мкм)						МК
	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	5,0	
0	1	нд	нд	нд	нд	нд	нд
1	10	2	нд	нд	нд	нд	нд
2	100	24	10	4	нд	нд	нд
3	1000	237	102	35	8	нд	нд
4	10000	2365	1018	352	83	нд	нд
5	100000	23651	10176	3517	832	29	5+
6	1000000	236514	101763	35168	8318	293	50
7	нк	нк	нк	351676	83176	2925	100
8	нк	нк	нк	3516757	831764	29251	500
9	нк	нк	нк	35167572	8317638	292511	нк
q	1,0	4,23	9,83	28,44	120,23	3418,67	

Обозначения в таблице 1:

МК - предельно допустимое количество микроорганизмов (шт./м<sup>3</sup>);  
нк - счетная концентрация частиц данного размера для данного класса не контролируется; нд - частиц указанного и больших размеров в воздухе ЧП не должно быть; 5+ - в соответствии с рекомендациями РИС разделяется на два подкласса ("А" или "Б"); q - коэффициент, определяемый из выражения:

$$q = (D/0,1)^{2,08}$$

В последней строчке таблицы 1 приведены соответствующие указанным  $D$  значения коэффициента  $q$ , округленные до второго знака после запятой.

Большинство природных и искусственно получаемых аэрозолей обладают довольно значительной полидисперсностью (размеры частиц лежат в широком диапазоне). Для характеристики свойств аэрозолей в зависимости от их дисперсности используются дифференциальные (рис.1) и интегральные (рис.2) функции распределения.

Дифференциальная кривая распределения выражает счетную долю частиц, диаметры (радиусы) которых заключены между  $d_1$  и  $d_2$ , а интегральная показывает, какая доля частиц имеет диаметр (радиус) меньше заданной величины.

Как показал опыт, дифференциальные функции распределения частиц по размерам в большинстве случаев имеют один, хорошо выраженный, максимум асимметричной формы с крутым спадом в сторону мелких и пологим - в сторону крупных частиц. В большинстве случаев это распределение сводится к логарифмически нормальному закону, для которого дифференциальная  $f(d)$  и интегральная  $F(d)$  функции распределения имеют вид [3,4].

$$f(d) = \frac{M}{\sqrt{2\pi}\sigma d} \exp - \frac{(\lg d - \lg d_0)^2}{2\sigma^2} ; \quad (1)$$

$$F(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\lg d} \exp - \frac{(\lg d - \lg d_0)^2}{2\sigma^2} d \lg d , \quad (2)$$

где  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение логарифмов диаметров частиц;

$d_0$  - среднегеометрический диаметр частиц;

$M$  - коэффициент перехода от натуральных логарифмов к десятичным, равный 0,4343.

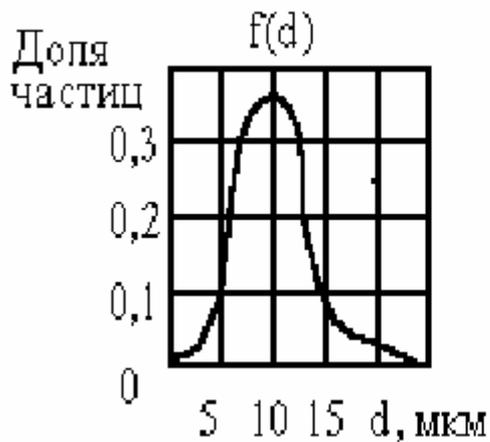


Рис. 1

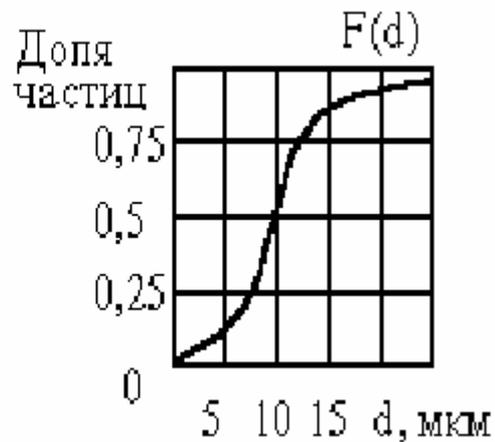


Рис.2

На практике при характеристике аэрозолей часто приходится ограничиваться указанием "среднего" размера частиц. Подобно счетному, массовому и т.п. распределению размеров частиц существуют различные средние величины (табл.2).

Таблица 2

Средние диаметры частиц	Условное обозначение	Функциональная зависимость	Для логарифмически нормального закона
Средний арифметический	$\bar{d}_{10}$	$\sum_i \frac{d_i n_i}{N}$	$d_0 \exp(\sigma^2 / 2M^2)$
Средний квадратичный	$\bar{d}_{20}$	$\left( \sum_i \frac{d_i^2 n_i}{N} \right)^{1/2}$	$d_0 \exp(\sigma^2 / M^2)$
Средний кубический	$\bar{d}_{30}$	$\left( \sum_i \frac{d_i^3 n_i}{N} \right)^{1/3}$	$d_0 \exp(3\sigma^2 / 2M^2)$

Обозначения в таблице 2:

$n_i$  - число частиц в  $i$ -м интервале диаметров;  $d_i$  -средний диаметр этого интервала;  $N$  - общее количество частиц.

Методы измерения концентрации аэрозольных частиц делятся на две группы: методы, основанные на предварительном осаждении частиц из дисперсионной среды, и методы без предварительного осаждения частиц.

Основным преимуществом методов первой группы является возможность измерения массовой концентрации аэрозоля. К недостаткам их следует отнести циклический характер измерения, длительность отбора проб при измерении малых концентраций.

Преимуществом методов второй группы является возможность непосредственных измерений в самой пылевоздушной среде, непрерывность измерений, что позволяет легко автоматизировать процесс контроля запыленности технологической атмосферы.

В санитарно-гигиенической практике широкое распространение нашел метод с использованием аналитических аэрозольных фильтров (АФА). С помощью фильтров АФА проводится измерение массовых концентраций, а также радиоспектрометрический, радиометрический, радиографический и радиохимический анализ аэрозолей.

Методика определения массовой концентрации частиц с помощью фильтров АФА включает следующие этапы: предварительную подготовку и взвешивание фильтра, отбор пробы (рис. 3), определение привеса фильтра после отбора пробы, вычисление массовой концентрации аэрозольных частиц по формуле (3)

$$C = \frac{(P_2 - P_1)1000}{W t}, \quad (3)$$

где  $P_1$  - масса чистого фильтра, мг;  $P_2$  - масса фильтра с отобранной пылью, мг;  $W$  - расход воздуха, л/мин;  $t$  - время отбора, мин.

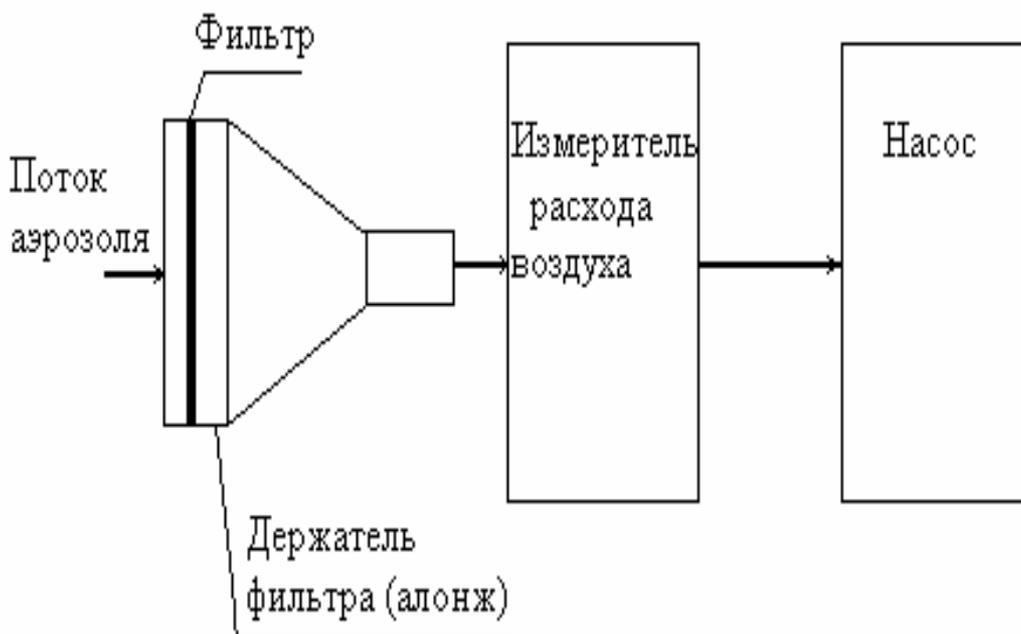


Рис. 3. Схема включения приборов при измерении запыленности воздуха методикой АФА.

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУКЦИИ ПО РАБОТЕ С НИМ

В лабораторной работе рассматриваются приборы для измерения концентрации дисперсной фазы аэрозоля, которые применяются в производственных условиях. Для экспериментального исследования чистоты воздушной среды используются следующие приборы: радиоизотопные концентратометры ПРИЗ-2 и ПРИМА-01, измеритель концентрации пыли ИКП-4 и счетчик аэрозольных частиц АЗ-5.

### Принцип работы и описание конструкции радиоизотопного концентратомета ПРИЗ-2

Концентратомер ПРИЗ-2 предназначен для определения концентрации нерадиоактивной пыли в окружающей атмосфере непосредственно на рабочих местах производственных помещений и промплощадках.

Работа прибора основана на определении массы задержанной фильтром пыли по степени ослабления потока бета-излучения, прошедшего через фильтр до и после отбора пробы пыли. Концентрация пыли в воздухе определяется по отношению массы пыли на фильтре к объему прошедшего через фильтр воздуха. Функциональная схема прибора представлена на рис.3. Запыленный воздух с помощью микронагнетателя 10, управляемого схемой регулировки расхода 9, засасывается через воздухозаборную трубку 1 и фильтрующую ленту 12 в камеру разряжения 4. Частицы пыли осаждаются на фильтрующей ленте 12 (НЭЛ-3-25), которая намотана на ведомой катушке 11 и ведущей катушке 6. Перемещение источника бета-излучения 2, фильтрующей ленты 12 и воздухозаборной трубки 1 осуществляет механизм перемещения 3. Излучение, прошедшее через фильтр, регистрируется счетчиком 5 и измеряется с помощью усилителя-формирователя 8 и блока обработки 7.

На лицевой панели концентратомера расположены (рис.4):

1 - шнур питания; 2 - тумблер включения блока питания СЕТЬ; 3 - разъем для подключения зарядного кабеля; 4 - тумблер переключения режима работы блока питания РАБОТА-ЗАРЯД; 5 - тумблер включения прибора ВКЛ; 6 - тумблер переключения режима работы прибора РАБОТА-КОНТРОЛЬ; 7 - светодиод контроля правильности работы СБОЙ; 8 - кнопка СБОЙ; 9 - табло индикации.

На кожухе имеется отверстие для установки воздухозаборной трубки, с правой стороны корпуса выведен шток 10 для взвода механизма перемещения.

### Техническая характеристика ПРИЗ-2

Концентратомер обеспечивает измерение концентрации пыли в воздухе в диапазоне от 1 до 500 мг/м<sup>3</sup>. Продолжительность измерения, включая время пробоотбора составляет от 45 до 4 мин. Предел допускаемой основной погрешности измерения концентратомера не более  $\pm 20\%$  от измеряемой величины во всем диапазоне измерения.

Время установления рабочего режима концентратомера не превышает 1 мин. Расход прокачиваемого через фильтрующую ленту воздуха не превышает 2,5 дм<sup>3</sup>/мин.

В качестве источника радиоактивного измерения в концентратомере применен источник бета-излучения с радионуклидом Прометий-147 типа БИП-10 с активностью нуклида в источнике от 10<sup>7</sup> до 10<sup>8</sup> Бк (Беккерелей). Питание прибора осуществляется от аккумуляторной батареи или от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Потребляемая мощность не более 40 Вт.

### Инструкция по работе с концентратомером ПРИЗ-2

1. Включить сетевую вилку шнура питания концентратомера в розетку сети переменного тока (220 В, 50 Гц).
2. Тумблера сетевого блока установить в положение РАБОТА и ВКЛ.
3. Вытянуть шток механизма перемещения за кольцо до отказа, переведя датчик прибора во взведенное состояние.
4. Тумблер КОНТРОЛЬ-РАБОТА установить в положение РАБОТА.
5. Включить концентратомер тумблером ВКЛ измерительного блока. На индикаторном табло должны индицироваться нули.
6. Через 100-120 с шток с характерным щелчком должен задвинуться на половину длины от взведенного положения, одновременно должен включиться микронасос
7. Примерно через 4 мин на табло индикации должна высветиться запятая.
8. После окончания отбора пробы воздуха шток должен задвинуться в исходное положение, микронасос отключиться и через 100-120 с на табло индикации должен появиться результат измерения.
9. Считать показания прибора и занести в таблицу.

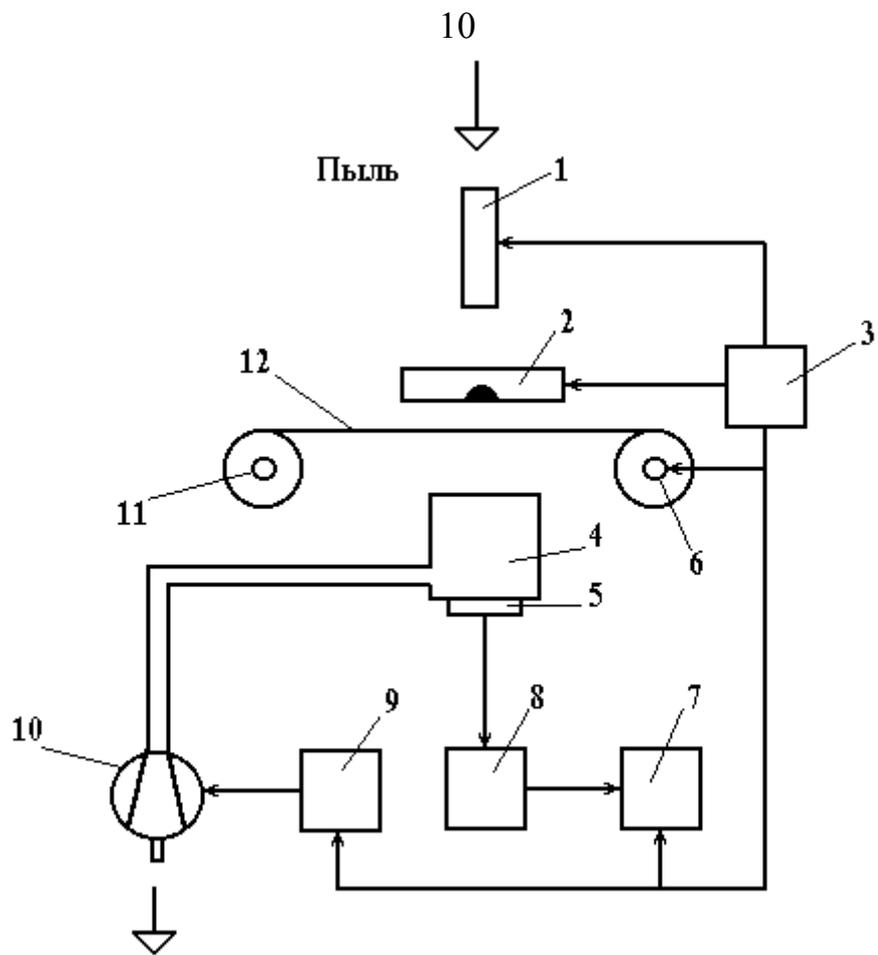


Рис.4. Функциональная схема концентратора ПРИЗ-2

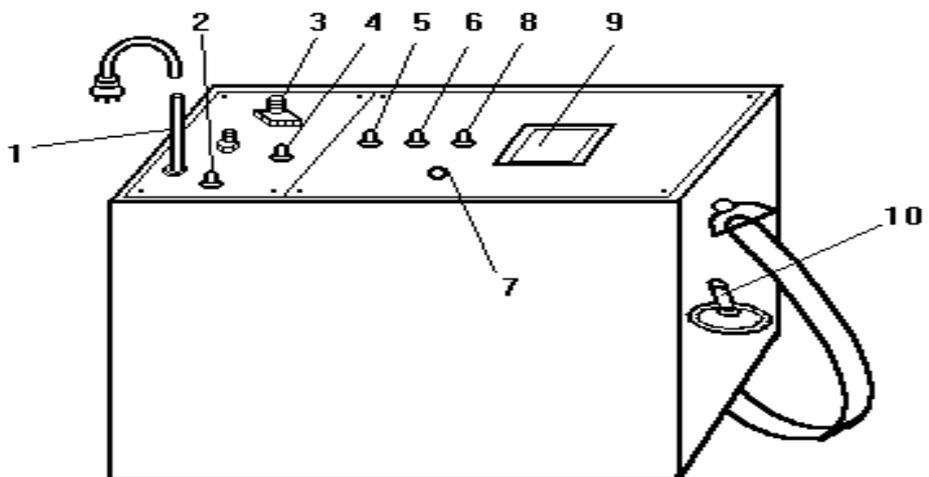


Рис.5. Расположение органов управления и индикации Концентратора ПРИЗ-2

Принцип работы и описание конструкции  
радиоизотопного концентратомера ПРИМА-01

Радиоизотопный концентратомер ПРИМА-01 разработан в лаборатории кафедры "Охрана труда и окружающей среды" Санкт-Петербургского института авиационного приборостроения и внедрен в серийное производство Территориальным Производственным Объединением "Пульс".

Концентратомер ПРИМА-01 представляет собой портативный, автоматический прибор с цифровой индикацией результатов измерения массовой концентрации аэрозолей.

В основу работы прибора положен метод концентрирования дисперсной фазы аэрозоля путем прокачивания определенного объема воздуха через фильтр марки АФА-ДП-3 и последующего измерения массы пылевого осадка на фильтре по поглощению бета-частиц, испускаемых закрытым источником мягкого бета-излучения с изотопом Рm - 147 типа БИП-10 активностью на более  $10^9$  Бк (Беккерелей).

Для измерения уровня запыленности воздушной среды в фильтродержатель подвижной каретки устанавливается чистый фильтрующий элемент (АФА-ДП-3). Окно для установки фильтра расположено на передней панели прибора (рис.5). После включения цикла измерения каретка автоматически перемещается в измерительный зазор пылемера, образованный источником и детектором радиоактивного излучения. Бета-частицы, прошедшие через фильтр, регистрируются детектором излучения. Сигнал с выхода детектора поступает на аналоговый усилитель, где по сигналу с блока автоматически запоминается. Затем подвижная каретка перемещается в газоход воздухозаборного блока и через фильтрующий элемент прокачивается заданный объем воздуха. Прибор снабжен тахометрическим датчиком расхода, стабилизатором расхода и счетчиком объема воздуха, позволяющими обеспечить точность отбора объема проб воздуха  $\pm 6$  %. После окончания отбора пробы воздуха фильтрующий элемент снова вводится в измерительный зазор и производится измерения интенсивности излучения, прошедшего через фильтр с осажженной на нем пылью; так как общая толщина поглотителя (фильтр плюс осадок пыли) увеличилась, то число бета-частиц, достигающих детектора, будет меньше, чем в случае чистого фильтра. На выходе аналогового усилителя выделяется сигнал от слоя пыли на фильтре. Радиоактивное излучение при прохождении через слой пыли ослабляется тем больше, чем больше поверхностная плотность слоя, т.е. масса пыли, отнесенная к единице поверхности этого слоя.

Аналого-цифровой преобразователь прибора, на вход которого поступает сигнал, пропорциональный массе пыли в известном объеме воздуха, и подключенный к его выходу блок индикации настроены так, что



Рис.6. Внешний вид пылемера ПРИМА-01

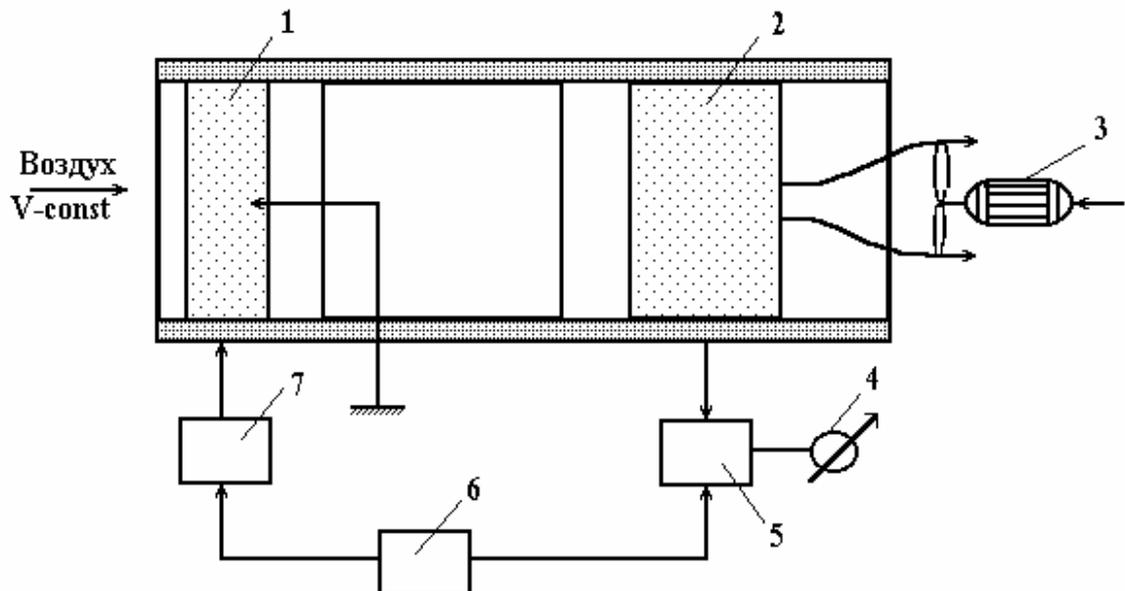


Рис.7. Функциональная схема пылемера ИКП-4

результаты измерения высвечиваются на цифровых индикаторах непосредственно в мг/м<sup>3</sup>.

### Техническая характеристика ПРИМА-01

Концентратомер имеет чувствительность не хуже 0,01 мг/м<sup>3</sup>. Диапазон измеряемой массовой концентрации от 0,01 до 100 мг/м<sup>3</sup>. Время отбора одной пробы не более 20 мин. Допускаемая погрешность измерения массовой концентрации в процентах не более

$$\delta = \pm \left[ 10 \pm 0,5 \left( \frac{\alpha_k}{\alpha} - 1 \right) \right],$$

где  $\alpha_k$  - номинальное значение установленного предела измерения (10 мг/м<sup>3</sup>);  $\alpha$  - действительное значение измеряемой величины.

Время установки рабочего режима пылемера не превышает 2 мин.

Расход исследуемого воздуха не более 20 л/мин. Питание прибора осуществляется от сети постоянного тока напряжением 12 В или от сети 220 В, 50 Гц. Потребляемая мощность не более 25 Вт.

### Инструкция по работе с концентратомером ПРИМА-01

1. Включить сетевой шнур концентратомера в сеть.
2. Включить кнопку СЕТЬ и дать прибору прогреться в течение 2 минут.
3. При необходимости, установить в фильтродержатель каретки чистый фильтр АФА-ДП-3.
4. Нажать кнопку ПУСК.
5. После окончания цикла измерения, когда зажжется табло СМЕНИТЬ ФИЛЬТР, снять показания цифровых индикаторов и занести в таблицу.

Примечание: Информация о массовой концентрации пыли в отобранной пробе воздуха индицируется до начала следующего цикла измерения.

### Принцип работы и описание конструкции прибора ИКП-4

Измеритель концентрации пыли ИКП-4 разработан в лаборатории кафедры "Охрана труда и окружающей среды" Санкт-Петербургского института авиационного приборостроения и предназначен для измерения поверхностной и массовой концентрации пыли в различных помещениях и в открытой атмосфере.

Принцип работы прибора заключается в следующем (рис.6). Исследуемый аэрозоль прокачивается с постоянной скоростью  $V$  воздушной струей 3 последовательно через зарядную 1 и измерительную 2 камеры.

В зарядной камере осуществляется униполярный импульсный коронный разряд отрицательной полярности. Высоковольтное импульсное напряжение, необходимое для создания коронного разряда между электродами зарядной камеры, вырабатывается модулятором 7.

Аэрозольные частицы, содержащиеся в объеме воздуха, который прошел через зарядную камеру за время импульса коронного заряда, получают отрицательный электронный заряд. Таким образом, поток исследуемого аэрозоля оказывается промодулированным по плотности несомого им объемного заряда. Проходя через измерительную камеру, заряженные частицы пыли индуцируют на ее электроде ток, который создает напряжение на входном сопротивлении усилителя 5. Амплитуда напряжения пропорциональна общему заряду всех частиц, находящихся в объеме измерительной камеры. Переменное напряжение усиливается усилителем и измеряется прибором 4. Напряжение сети стабилизируется в блоке питания 6. Заряд, полученный каждой аэрозольной частицей в зарядной камере, пропорционален ее поверхности, поэтому прибор ИКП-4 позволяет измерять как поверхностную, так и, (после соответствующей градуировки) массовую концентрацию дисперсной фазы аэрозоля.

Конструктивно прибор выполнен в виде одного блока. Форма прибора, его масса и размещение органов управления позволяют выполнять необходимые при измерении действия одной рукой. На лицевой панели прибора расположены: измерительный прибор, клавиша С, предназначенная для включения напряжения сети, переключатель 8 диапазонов измерения и калибровки, ручка потенциометра, предназначенная для калибровки прибора.

#### Техническая характеристика ИКП-4

Прибор обеспечивает мгновенное измерение массовой (после предварительной градуировки) концентрации пыли в диапазоне от 0,1 до 25 мг/м<sup>3</sup>. Основная погрешность измерения не превышает  $\pm 20\%$  от измеряемой величины. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В, 50 Гц или от сети постоянного тока напряжением 27 В. Потребляемая мощность - 3 Вт.

#### Инструкция по работе с прибором ИКП-4

1. Подключить прибор через дополнительный блок питания к сети напряжением 220 В, 50 Гц и при необходимости произвести механическую корректировку нуля измерительного прибора.
2. Включить переключатель КАЛИБР, нажать клавишу С и через 10-15 с после включения напряжения сети вращением ручки потенциомет-

ра установить стрелку измерительного прибора на калибровочную метку “К”.

3. Включить переключателем диапазонов необходимый предел измерения, снять показания прибора и записать его в таблицу.

4. Нажать вторично клавишу С для отключения прибора от сети.

Измерение запыленности в производственном помещении прибором ИКП-4 производится не менее 3 раза через равные промежутки времени.

### Принцип работы и описание конструкции прибора АЗ-5

Фотоэлектрический счетчик аэрозольных частиц АЗ-5 предназначен для измерения счетной концентрации аэрозольных частиц в воздухе помещений, где требуется высокая чистота (электровакуумное, полупроводниковое и другие производства). Работа счетчика АЗ-5 основана на рассеянии света отдельными аэрозольными частицами. Благодаря количественной связи между размером частиц и интенсивностью рассеянного света возможен анализ частиц по размерам.

Счетчик АЗ-5 включает в себя следующие основные элементы (рис.7): 1 - источник света; 2, 4, 19 - объективы; 3, 18 - диафрагмы; 5 - измерительная камера; 6 - сопло; 7, 8 - окна; 9 - рассеиватель; 10 - поглотитель света; 11 - световод; 12 - двигатель калибратора; 13 - диск калибратора; 14 - электронный блок; 15 - измерительный прибор; 16 - счетчик; 17 - фотоумножитель.

Принцип работы прибора состоит в следующем. Оптический датчик выдает на каждую аэрозольную частицу электрический импульс, амплитуда которого пропорциональна размеру анализируемой частицы. В камере анализа специальный осветитель создает яркий, резко очерченный луч света. Перпендикулярно к нему с помощью светосильного объектива образуется луч зрения фотоумножителя. Оба луча имеют одинаковые диаметры и точно совмещаются. Их пересечение образует оптически выделенный объем, являющийся чувствительным объемом прибора. Исследуемый воздух поступает в камеру анализа через сопло специального профиля, которое формирует струю и направляет ее перпендикулярно двум упомянутым лучам в чувствительный объем, полностью его заполняя.

Если аэрозольных частиц в чувствительном объеме нет, то свет из осветителя попадает на фотоумножитель только за счет рассеяния его деталями конструкции датчика, объективами и содержащимся в объеме воздухом. Если в чувствительный объем попадает частица, то количество рассеянного света увеличивается во время пролета этой частицы через чувствительный объем. В результате на выходе фотоумножителя возникает электрический импульс, длительность которого равна вре-

мени пролета частицы через чувствительный объем, а амплитуда определяется размером частицы (ее диаметром).

Электронный блок служит для усиления, разделения по амплитудам и подсчета электрических импульсов, поступающих от фотоэлектронного умножителя.

Пороговая схема имеет регулируемое запирающее для проведения амплитудного анализа электрических импульсов.

Интенсиметр дает показания, пропорциональные частоте импульсов, поступающих на его вход от пороговой схемы. Полное отклонение стрелки прибора происходит при частотах 20, 60, 200, 600, 2000 и 6000 импульсов в секунду, что соответствует диапазонам измеряемых концентраций 1000, 3000, 10000, 30000, 100000 и 300000 частиц.

Если концентрация аэрозоля меньше 250 частиц, то счет частиц производится электромеханическим счетчиком, быстродействие которого равно 50 Гц. Для дозирования пробы аэрозоля счетчик АЗ-5 имеет реле времени, которое включает схему запуска электромеханического счетчика на 50 с. За это время при номинальном потоке аэрозоля, равном 1,2 л/мин, через счетчик АЗ-5 проходит 1 л аэрозоля.

Прибор конструктивно оформлен в виде лабораторного, переносного прибора. Основные узлы смонтированы на шасси и заключены в кожух. К шасси крепится лицевая панель (рис.8) с органами управления: 1 - тумблер включения питания; 2 - переключатель установки наименьшего размера регулируемых частиц; 3 - тумблер включения насоса; 4 - кран регулировки объемного расхода аэрозоля; 5 - тумблер включения электромеханического счетчика; 6 - переключатель поддиапазонов; 7 - кнопка пуска дозированного измерения; 8 - показывающий прибор канала непрерывного измерения; 9 - индикаторная лампа включения счетчика АЗ-5; 10 - ротаметр; 11 - индикаторная лампа канала дозированного измерения; 12 - электромеханический счетчик канала дозированного измерения; 13 - клавиша сброса показаний счетчика; 15 - крышка выходного штуцера счетчика; 14 - крышка штуцера ВХОД АЭРОЗОЛЯ.

### Техническая характеристика прибора АЗ-5

Прибор измеряет дисперсный состав аэрозольных частиц величиной (по диаметру) от 0,4 до 10 мкм. Диапазон измерения счетной концентрации аэрозоля от 1 до 300000 частиц/л. Количество каналов измерения два.

Канал непрерывного измерения имеет поддиапазон (частиц/л): от 0 до 1000; от 0 до 3000; от 0 до 10000; от 0 до 30000; от 0 до 100000; от 0 до 300000.

Канал дозированного измерения используется для измерения счетной концентрации от 1 до 250 частиц/л. Время отдельного измерения - 50 с, объем анализируемого аэрозоля - 1 л.

Наименьший размер регистрируемых частиц устанавливается по желанию с помощью переключателя МКМ на следующие значения:

0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,5; 2; 4; 10 мкм.

Питание прибора от сети переменного тока напряжением  $220 \pm 22$  В частоты 50 Гц или от источника постоянного тока напряжением  $12,5 \pm 1,25$  В.

Наибольшая потребляемая мощность при питании от сети переменного тока 35 Вт, от источника постоянного тока 25 Вт.

Габаритные размеры 320X310X180 мм. Масса - 9 кг.

### Инструкция по работе со счетчиком АЗ-5

1. Выключатели ПИТАНИЕ, НАСОС, СЧЕТЧИК поставить в нижнее положение, переключатель ДИАПАЗОН 1000 - в положение 300.

2. Подключить счетчик к сети переменного тока напряжением 220 В, 50 Гц.

3. Включить счетчик выключателем ПИТАНИЕ, при этом на лицевой панели загорается левая (зеленая) индикаторная лампочка.

4. При необходимости произвести контроль питающего напряжения, для чего нажать кнопку КОНТР. (на задней стенке прибора), стрелка прибора 8 должна установиться в пределах закрашенного сектора.

5. Дать прогреться прибору 1-2 мин, после чего он готов к работе.

### Измерение высоких концентраций аэрозоля

6. Отвинтить крышку для доступа к входному и выходному штуцерам 14 и 15. Снять со штуцера ВХОД АЭРОЗОЛЯ колпачок.

7. Установить переключатель 2 МКМ желаемый наименьший размер регулируемых частиц в положение 0,4.

8. Включить насос, установив выключатель 3 в верхнее положение.

9. Ручкой регулировки 4 установить производительность насоса, при которой максимальный диаметр поплавка ротаметра находится на уровне черты на оправе.

10. Переключателем 6 ДИАПАЗОН X 1000 установить необходимый диапазон измерения так, чтобы стрелка измерительного прибора 8 находилась около или правее середины шкалы.

11. Снять показания стрелочного прибора 8 и записать его в таблицу.

**Примечание:** при установке переключателя 6 в положения 1; 10; 100

отсчет числа частиц вести по верхней шкале, а при установке в положения 3; 30; 300 - по нижней шкале прибора 8.

При счетной концентрации от 1 до 250 частиц/л, когда стрелка измерительного прибора 8 находится левее отметки 0,25, а переключатель 6 в положении 1, нужно перейти на канал дозированного измерения и выполнить п.п. с 17 по 20.

12. Установить последовательно переключатель 2 в положение 0,5; 0,6 и т.д.

13. Повторить п.10 и п.11.

14. Выключить насос, установив тумблер 3 в нижнее положение.

### Измерение низких концентраций аэрозоля

15. Установить переключатель размера частиц 2 МКМ в положение 0,4.

16. Включить насос, установив выключатель 3 в положение ВКЛ. При необходимости повторить п.9.

17. Включить электромеханический счетчик 12, установив тумблер 5 в положение ВКЛ.

18. Установить на 0 электромеханический счетчик 12, нажав на клавишу сброса 13.

Примечание: запуск счетчика 12 производить только при счетных концентрациях не превышающих 250 частиц.

19. Запустить счетчик 12, нажав кнопку 7 ПУСК. На лицевой панели прибора на 50 с загорается индикаторная лампа 11. Счетчик 12 показывает количество частиц, содержащихся в 1 л аэрозоля. После того, как лампа погаснет, счетчик автоматически выключается и сохраняет показание.

20. Снять показание счетчика и записать его в таблицу. Сброс показаний производить нажатием на клавишу 13.

21. Установить поочередно переключатель 2 в положение 0,5; 0,6; и т.п. и повторить п.19 и п.20.

22. Выключить счетчик, установив выключатель ПИТАНИЕ 1 в нижнее положение. На входной штуцер надеть колпачок, завинтить крышки 14 и 15 на корпус прибора. Отключить прибор от сети.

**Внимание!** Включение лабораторного оборудования производится только после проверки преподавателем знаний студентов по содержанию данной работы.

### 3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

В лабораторной работе исследуются методы и приборы для измерения запыленности и дисперсного состава пыли, поэтому при работе на лабораторной установке следует руководствоваться ГОСТ 12.3.019-80 "Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности".

#### Характеристика опасных (вредных) факторов, создаваемых лабораторной установкой

В процессе выполнения лабораторной работы установка может создавать следующие опасные факторы:

- поражение электрическим током;
- возникновение пожара;
- радиационная опасность.

Электропитание приборов, входящих в состав установки, осуществляется от электрической однофазной сети переменного тока с заземленной нейтралью. Фазное напряжение сети составляет 220 В при частоте 50 Гц.

При одновременном прикосновении к нулевому и фазному проводам ток через человека может значительно превысить предельно допустимый уровень отпускаящего тока и представляет для человека смертельную опасность.

Опасность пожара может возникнуть при коротком замыкании в электрических схемах приборов.

Радиационная опасность не может наступить, т.к. в приборах установлены эмитаторы источников ионизирующего излучения.

#### Мероприятия, повышающие безопасность лабораторной установки

В лабораторной установке используются приборы ПРИМА-01, ПРИЗ-2, ИКП-4, АЗ-5, удовлетворяющие требованиям безопасной эксплуатации.

В целях уменьшения электрической, пожарной и радиационной опасности предусмотрены следующие мероприятия:

- применены стандартные приборы отечественного производства, обладающие высокой надежностью;
- для подключения к сети отдельных приборов применены кабели с наружной электрической изоляцией;

- в приборах применены плавкие предохранители, размещенные в местах, обеспечивающих свободный доступ к ним в процессе эксплуатации.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- поддерживать на рабочем месте чистоту и порядок, соблюдать осторожность и быть внимательным;

- немедленно отключить все приборы от питающей сети при появлении запаха гари, дыма, огня, необычного шума, при искрении оборудования;

- при возникновении пожара на лабораторной установке следует применить для тушения углекислотные огнетушители;

- запрещается оставлять без наблюдения включенные приборы.

**Внимание!** Ближайший огнетушитель и кран с пожарным рукавом находится у входа в лабораторию на лестничной площадке. Там же на электрощитке расположен выключатель электроэнергии.

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Используя методы и приборы, рассмотренные нами, требуется определить: массовую концентрацию пыли в производственном помещении пылемерами ПРИЗ-2, ПРИМА-01 и ИКП-4; счетную концентрацию и фракционно-дисперсный состав частиц счетчиком АЗ-5, а также выполнить расчеты по определению параметров закона распределения аэрозольных частиц по размерам, оценить значение концентрации аэрозолей преимущественно фиброгенного действия и провести сравнительный анализ экспериментальных данных о чистоте воздуха в производственных помещениях и действующих санитарных и технологических норм; сделать выводы по работе.

На конкретном примере рассмотрим порядок работы по определению массовой и счетной концентрации пыли, методику обработки экспериментальных данных и выводы по работе.

Предположим, что с целью санитарно-гигиенического контроля необходимо измерить концентрацию пыли в воздухе механического цеха, в котором обрабатываются детали из сплавов алюминия. После выполнения измерения полученную концентрацию сравнить с ПДК.

Затем проверить чистоту воздушной среды в сборочном цехе завода авиационной промышленности и определить класс чистоты помещения, если вид пыли - минеральная, ее плотность  $\rho = 2000 \text{ кг/м}^3$ . Санитарные нормы приведены в ГОСТ 12.1.005-88 (Прил.1), а технологические нормы - в табл.1.

Выполнение работы начинается с определения массовой концентрации пыли.

Массовую концентрацию пыли в воздухе механического цеха определяем с помощью приборов ПРИЗ-2, ПРИМА-01 и ИКП-4.

1. Измерение запыленности воздуха с помощью пылемера ПРИЗ-2 производится два раза в последовательности, указанной в инструкции по работе с прибором. Результаты измерения вносят в табл.3.

2. Измерение запыленности с помощью прибора ИКП-4 и ПРИМА-01 производится не менее 3 раз в последовательности, указанной в инструкции по работе с приборами. Интервал времени между отдельными измерениями 10 мин. Результаты измерений вносят в табл.3 и вычисляют среднее значение.

Таблица 3

Тип пыле- мера	№ измерения	Показания пылемеров, $n_0$ , мг/м <sup>3</sup>	Среднее значение показаний $n_{ср}$ , мг/м <sup>3</sup>	Интервал между из- мерениями, мин
ПРИЗ-2	1			
	2			
ПРИМА-01	1			
	2			
	3			
ИКП-4	1			
	2			
	3			

В механическом цехе при обработке деталей из сплавов алюминия ПДК в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 составляет 2 мг/м<sup>3</sup>. Нужно сравнить ПДК с величинами, полученными в результате измерений (табл.3) и сделать вывод(удовлетворяют или нет требованиям санитарных норм результаты замеров).

3. Далее приступают к измерению счетной концентрации и фракционно-дисперсного состава пыли в чистой комнате с помощью счетчика АЗ-5.

Сначала подготавливают таблицу для записи результатов измерения и их обработки (табл.4). Затем подготавливают к работе счетчик АЗ-5 и производят измерение дисперсного состава частиц, последовательно устанавливая переключателем значения нижней границы диаметров регистрируемых частиц. Результаты измерения записывают в табл.4 (столбец 2). Остальные столбцы таблицы заполняет ЭВМ при обработке результатов измерений.

В столбце 3 указывается интервал диаметров частиц. Для каждого интервала диаметров частиц  $i$  находится среднее значение диаметра, представляющее собой среднее арифметическое из крайних значений диаметров данного интервала ( $di$ ), которое вносится в столбец 5.

Путем последовательного вычитания соответствующих значений количества частиц, указанных в столбце 2, находится количество частиц для каждого интервала  $n_i$  (столбец 5). Общее количество частиц  $N$ , содержащихся в 1 л воздуха, составляет сумму столбца 5, что указывается в конце столбца. Разделив количество частиц в данном интервале  $n_i$  на их общее количество  $N$ , получают долю частиц для каждого интервала, (столбец 6).

Накопленная доля частиц определяется путем прибавления последующей доли частиц к предыдущей. Полученные результаты записываются в столбец 7.

Используя данные таблицы 4 с помощью ЭВМ, определяются параметры логарифмически нормального закона распределения ( $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение логарифмов диаметров частиц и  $do$  - среднегеометрический диаметр частиц).

Таблица 4

Нижняя граница диаметров, $d_{нгр}$ , мкм	Кол-во частиц $N(d > d_{нгр})$ , шт.	Интервал диаметров, мкм	Средний диаметр $i$ -го интервала, $d_i$ , мкм	Кол-во частиц в $i$ -м интервале, $n_i$ , шт.	Доля частиц, $n_i / N$	Накопленная доля частиц, $F(d)$
0,4		0,4-0,5	0,45			
0,5		0,5-0,6	0,55			
0,6		0,6-0,7	0,65			
0,7		0,7-0,8	0,75			
0,8		0,8-0,9	0,85			
0,9		0,9-1,0	0,95			
1,0		1,0-1,5	1,25			
1,5		1,5-2,0	1,75			
2,0		2,0-4,0	3,0			
4,0		4,0-7,0	5,5			
7,0		7,0-10	8,5			
10,0		> 10,0				

$$N =$$

В заключение следует оценить результаты исследования запыленности в сборочном цехе, сравнить их с технологическими нормами (табл. 1) и определить **Класс чистоты**.

В соответствии с рассмотренным выше примером измерения запыленности воздуха в производственном помещении для выполнения лабораторной работы необходимо:

- измерить массовую концентрацию пыли в производственном помещении;
- измерить счетную концентрацию и фракционно-дисперсный состав пыли в производственном помещении;
- произвести обработку экспериментальных данных;
- произвести расчет на ЭВМ параметров закона распределения  $\sigma$  и  $d_0$ ;
- рассчитать "средние" диаметры аэрозольных частиц  $d_{10}$ ,  $d_{20}$ ,  $d_{30}$  (табл.2);
- оценить результаты экспериментального исследования запыленности в производственном помещении, сравнив их с санитарными и технологическими нормами;
- сформулировать по результатам исследования рекомендации по уменьшению запыленности в производственном помещении.

## 5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- описание вредного действия пыли на организм человека и качество изготавливаемых изделий;
- исходные данные;
- функциональные схемы приборов, используемых в работе;
- расчетные формулы с обозначением их элементов;
- результаты измерения счетной концентрации и фракционно-дисперсного состава пыли в производственном помещении и обработку экспериментальных данных (табл.4); результатов расчета  $\sigma$  и  $d_0$ ;
- результаты расчета "средних" диаметров аэрозольных частиц  $d_{10}$ ,  $d_{20}$ ,  $d_{30}$ ;
- выводы по результатам исследования и рекомендации по использованию возможных мероприятий, направленных на уменьшение запыленности в производственных помещениях.

## Библиографический список

1. П.Прайст. Аэрозоли. М.: Мир, 1987.
2. Чистые помещения / Под ред. И.Хаякавы. М.: Мир, 1990.
3. Приборы контроля окружающей среды /Под ред. В.Е.Михайлова. М.: Атомиздат, 1980.
4. И.С.Петрянов-Соколов, А.Г.Сугутин. Аэрозоли. М.: Наука, 1989.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Предельно допустимые концентрации аэрозолей  
преимущественно фиброгенного действия  
(ГОСТ 12.1.005-88)

№ п.п.	Наименование веществ	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
1	Алюминий и его сплавы (в пересчете на алюминий)	2	III
2	Алюминия нитрид	6	IV
3	Алюминия окись с примесью диоксида кремния в виде аэрозоля конденсации	2	III
4	Барит	6	IV
5	Бокситы	6	IV
6	Бора карбид	6	IV
7	Вольфрам, вольфрама карбид и силицид	6	IV
8	Датолитовый концентрат	4	III
9	Дистенсиллиманит	6	IV
10	Доломит	6	IV
11	Железный агломерат	4	III
12	Железные окатыши	4	III
13	Зерновая пыль	4	III
14	Зола горючих сланцев	4	III
15	Известняк	6	IV
16	Кремния диоксид содержащие пыли		
	а) кремния диоксид аморфный в виде аэрозоля конденсации при содержании более 60 %	1	III
	б) кремния диоксид аморфный в виде аэрозоля конденсации при содержании от 10 до 60%	2	III
	в) кремния диоксид аморфный в смеси с оксидами марганца в виде аэрозоля конденсации с содержанием каждого из них более 10%	1	III
	г) кремния диоксид аморфный и стеклообразный в виде аэрозоля дезинтеграции (диатомит, кварцевое стекло, плавленый кварц, трепел)	1	III
	д) кремния диоксид кристаллический при содержании в пыли от 2 до 10%	4	
17	Кремнемедистый сплав	4	III
18	Кремния карбид (карборунд)	6	IV
19	Лавсан	5	III
20	Люминофоры Л-3500-III, ЛФ-630-I, ЛЦ-6200-I	6	IV
№	Наименование веществ	ПДК,	Класс

п.п.		мг/м <sup>3</sup>	опасности
21	Магнезит	10	IV
22	Меди магнит	6	IV
23	Нитроаммофоска	4	III
24	Пыль растительного и животного происхождения :		
	а) зерновая	4	III
	б) мучная, древесная и др. (с примесью диоксида кремния менее 2 %)	6	IV
	в) лубяная, хлопчатобумажная, хлопковая, льняная, шерстяная, пуховая и др. (с примесью диоксида кремния более 10%)	2	IV
	г) с примесью диоксида кремния от 2 до 10 %	4	IV
25	Сера элементарная	6	IV
26	Смолодоломит	2	III
27	Титан и его диоксид	10	IV
28	Чугун в смеси с электрокорундом до 20 %	6	IV
29	Электрокорунд, электрокорунд хромистый	6	IV

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Соответствие обозначений класса чистоты, устанавливаемых по ГОСТ Р 50766-95 и ранее используемыми обозначениями по ОСТ 11.14.3302, а также обозначениями стандартов США и Японии

ГОСТ Р 50766-95	Fed-Std 209E США	Fed-Std 209D США	ОСТ 11.14.3302	JIS В 9920 Япония
P 0	---	---	---	---
P 1	---	---	---	1
P 2	---	---	---	2
P 3 (1)	M 1,5	1	1	3
P 4 (10)	M 2,5	10	10	4
P 5 (100)	M 3,5	100	100	5
P 6 (1000)	M 4,5	1000	1000	6
P 7 (10000)	M 5,5	10000	10000	7
P 8 (100000)	M 6,5	100000	100000	8
P 9 (1000000)	---	---	---	---