

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ФГБОУ ВО БРЯНСКИЙ ГАУ

Инженерно-технологический институт

Кафедра безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии

Адылин И.П.

**Инженерные методы и технические
средства контроля и обеспечения
экологической безопасности в
сельскохозяйственном производстве**

Учебное пособие

Брянская область

2022

УДК 628.511 (076)

ББК 30н

А 32

Адылин, И. П. Инженерные методы и технические средства контроля и обеспечения экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве / И.П. Адылин. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. – 57 с.

Учебное пособие предназначено для студентов очной и заочной формы обучения направления 20.03.01 Техносферная безопасность, изучающих дисциплины «Промышленная экология», «Приборы контроля окружающей среды».

Рецензент: профессор кафедры технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве ФГБОУ ВО Брянский ГАУ д.т.н., профессор Лапик В.П.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского ГАУ, протокол № 6 от 30 марта 2022 г.

© Брянский ГАУ, 2022

© Адылин И.П., 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Основные понятия и определения	4
2 Методы измерения концентрации пыли	14
3 Методы определения дисперсного состава пыли	15
4 Приборы для определения запыленности воздуха.....	19
5 Определение запыленности воздуха весовым методом	22
5.1 Методика определения запыленности воздуха весовым методом с помощью аспиратора модели ПУ-4Э	25
6 Определение дисперсности пыли методом микроскопирования	27
6.1 Подготовка препаратов	32
6.2 Определение увеличения микроскопа.....	33
6.3 Общие указания по работе с микроскопом.....	34
6.4 Определение размера частиц при помощи окуляра 8х с измерительной шкалой	35
6.5 Оформление отчета	37
7 Определение запыленности воздуха оптическим способом.....	38
7.1 Методика определения запыленности воздуха оптическим методом.....	39
8 Запыленность в сельскохозяйственном производстве	43
Контрольные вопросы	48
Список литературы	49
Приложения	51

ВВЕДЕНИЕ

Производственная пыль является одним из широко распространенных неблагоприятных факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье работающих. Целый ряд технологических процессов сопровождается образованием мелкораздробленных частиц твердого вещества (пыль), которые попадают в воздух производственных помещений и более или менее длительное время находятся в нем во взвешенном состоянии.

Пылеобразование происходит при дроблении, размоле, перетирке, шлифовке, сверлении, фасовке, упаковке, переработке сельхозпродукции, складской обработке грузов, погрузочно-разгрузочных операциях, транспортировке. Пыль образуется также в результате конденсации паров тяжелых металлов и других веществ.

Большая запыленность воздуха встречается в рудниках, на шахтах, фарфорофаянсовом производстве, цементных и литейных заводах, в цехах обработки металла, на оптовых базах, складах сыпучих товаров и сельхозпродуктов.

За последние годы с возрастанием спроса на услуги торговли, банков, предприятий сферы бытовых и других сервисных услуг появились крупные учреждения массового обслуживания населения, в которых движение больших людских и товарных потоков создает повышенное содержание пыли в помещениях.

1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Пылью называют дисперсную систему, состоящую из мельчайших твердых частиц, находящихся в газовой среде во взвешенном состоянии (аэрозоль) или осевших (аэрогель).

Пыль подразделяется на атмосферную и промышленную. Источниками образования промышленной пыли являются технологические процессы и производственное оборудование, связанное с измельчением (дробление, помол, ре-

зание) и поверхностной обработкой материалов (шлифование, полирование, ворсование и т.п.), транспортировкой, перемещением и упаковкой измельченных материалов и т.д. Атмосферная пыль включает промышленную (загрязнение атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий) и естественную, возникающую при выветривании горных пород, вулканических извержениях, пожарах, ветровой эрозии пахотных земель, пыли космического и биологического происхождения (пыльца растений, споры, микроорганизмы). К промышленным предприятиям, выбрасывающим в атмосферу частицы пыли, относятся предприятия черной металлургии, теплоэнергетики, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, промышленности строительных материалов и др.

Нормативным документом ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Изменение N1» установлены предельно допустимые концентрации для более чем 1300 различных веществ [1]. ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны считается такая концентрация, которая при ежедневной работе в течение 8 часов или другой продолжительности, но не более 41 часа в неделю, в течение всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. В приложении 1 приведены ПДК некоторых веществ в воздухе рабочей зоны.

Пыль классифицируют **по следующим признакам** (приложение 2):

- по роду вещества, из которого состоят частицы;
- степени дисперсности (измельчения);
- степени вредного влияния на организм человека;
- взрывоопасности;
- пожароопасности.

По происхождению пыль подразделяют на три основных подгруппы:

1. Органическая:

- естественная (растительного происхождения – древесная, хлопковая, и животного – костяная, шерстяная);

- искусственная (пыль пластмасс, резины, смол, красителей и других синтетических веществ).

2. Неорганическая:

- металлическая (стальная, медная, свинцовая);
- минеральная (песчаная, известковая, цементная).

3. Смешанная.

По дисперсности пыль подразделяют на три группы:

- 1) видимая (размеры частиц более 10 мкм);
- 2) микроскопическая (0,25-10 мкм);
- 3) ультрамикроскопическая (менее 0,25 мкм).

Опасность пыли увеличивается с уменьшением размера пылинок, так как такая пыль дольше остается в виде аэрозоля в воздухе и глубже проникает в легочные каналы.

Вредность воздействия пыли на организм человека зависит от степени запыленности воздуха, характеризующейся концентрацией ($\text{мг}/\text{м}^3$), и различных свойств пыли: химического состава, растворимости, дисперсности, формы частиц и адсорбционной способности.

По воздействию на организм пыль подразделяется на ядовитую и неядовитую.

В организм человека пыль проникает тремя путями:

- через органы дыхания;
- через желудочно-кишечный тракт;
- через кожу.

В зависимости от состава пыль может оказывать на организм:

1. Фиброгенное действие – в легких происходит разрастание соединительной ткани, нарушающее нормальное строение и функции органа (кварцевая, породная).

2. Раздражающее действие на верхние дыхательные пути, слизистую оболочку глаз, кожу (известковая, стекловолокна).

3. Токсическое действие – ядовитые пыли, растворяясь в биологических средах организма, вызывают отравления (свинцовая, мышьяковистая).

4. Аллергическое действие (шерстяная, синтетическая).
5. Биологическое действие (микроорганизмы, споры).
6. Канцерогенное действие (сажа, асбест).
7. Ионизирующее действие (пыль урана, радия).

В легкие глубоко проникают пылинки размером от 0,1 до 10 мкм. Более мелкие выдыхаются обратно, а крупные оседают на слизистых оболочках полости носа, глотки, трахеи и выводятся наружу со слизью при кашле и чихании. Часть пыли задерживается в носу и носоглотке, вместе со слюной и слизью попадает в органы пищеварения. Более мелкие, не осевшие, пылевидные частицы при вдохе проникают в глубокие дыхательные пути, вплоть до ткани легких. В легких задерживаются частицы, не превышающие 7 мкм. При проникновении в дыхательные пути пыль может вызывать профессиональные заболевания – пневмокониозы (ограничение дыхательной поверхности легких и изменения во всем организме человека), хронические бронхиты, заболевания верхних дыхательных путей. Химический состав пыли определяет характер тех или иных профессиональных заболеваний. Например, при вдыхании угольной пыли возникает разновидность пневмокониоза – антракоз, алюминиевый алгинноз, свободного диоксида кремния SiO_2 – силикоз и т.д.

Попадая на кожу, пыль проникает в сальные и потовые железы и нарушает систему терморегуляции организма. Неядовитая пыль оказывает раздражающее воздействие на кожу, глаза, уши, дёсны (шероховатости, шелушение, угри, асбестовые бородавки, экземы, дерматиты, конъюнктивиты и др.).

Растворимость пыли зависит от ее состава и удельной поверхности ($\text{м}^2/\text{кг}$), поскольку химическая активность пыли в отношении организма зависит от общей площади поверхности. Сахарная, мучная и другие виды пыли, быстро растворяясь в организме, выводятся, не причиняя особого вреда. Нерастворимая в организме пыль (растительная, органическая и т.п.) надолго задерживается в воздухоносных путях, приводя в отдельных случаях к развитию патологических отклонений.

Форма пылинок влияет на устойчивость аэрозоля в воздухе и поведение в

организме. Частицы сферической формы быстрее выпадают из воздуха и легче проникают в легочную ткань. Наиболее опасны пылинки с зазубренной колючей поверхностью, так как они могут вызывать травмы глаз, ткани легких и кожи. В приложении 3 и 4 приведены изображения некоторых пылей различного происхождения.

Адсорбционные свойства пыли находятся в зависимости от дисперсности и суммарной поверхности. Пыль может быть носителем микробов, грибов, клещей.

Пыли могут также приобретать электрический заряд за счет адсорбции ионов из воздуха и в результате трения частиц в пылевом потоке, что увеличивает их вредное воздействие. Неметаллическая пыль заряжается положительно, а металлическая – отрицательно. Разноименно заряженные частицы притягиваются друг к другу и оседают из воздуха. При одинаковом заряде пылинки, отталкиваясь одна от другой, могут долго витать в воздухе. Заряженные частицы дольше задерживаются в легких, чем нейтральные, тем самым увеличивается опасность для организма.

Негативным свойством многих видов пыли является их способность к воспламенению и взрыву. В зависимости от величины нижнего предела воспламенения пыли подразделяются на взрывоопасные и пожароопасные. К взрывоопасным относятся пыли с нижним пределом воспламенения до 65 г/м^3 (сера, сахар, мука), к пожароопасным – пыли с нижним пределом воспламеняемости выше 65 г/м^3 (табачная, древесная и др.).

Для защиты от пыли на производстве применяется комплекс санитарно-гигиенических, технических, организационных и медико-биологических мероприятий. Эффективными средствами защиты являются: внедрение комплексной механизации и автоматизации производственных операций с автоматическим или дистанционным управлением и контролем, герметизация оборудования, приборов и коммуникаций, размещение опасных узлов и аппаратов вне рабочих зон, замена сухих способов переработки пылящих материалов мокрыми, применение местных отсосов от оборудования и аппаратуры, автоблокировка пусковых устройств тех-

нологического и санитарно-гигиенического оборудования, гидрообеспыливание. Эти средства относятся к общим методам защиты работающих и оборудования от пыли. В качестве индивидуальных средств защиты от пыли используются респираторы, противогазы, пневмошлемы, пневмомаски, непроницаемая противопыльная спецодежда, защитные очки и т.п. Важную роль играют также защита временем, ультрафиолетовое облучение в фотариях, щелочные ингаляции, проведение медосмотров, соблюдение личной гигиены, применение специального питания.

Воздух рабочей зоны (пространство высотой до 2 метра над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного и временного пребывания работающих) очищается следующими способами: при сухом разломе материалов устанавливают улавливатели взвешенной в воздухе пыли, применяют пневматическое транспортирование полученного продукта, обеспечивают отсасывание (*аспирацию*) пыли из-под укрытий в местах ее образования. Создаваемое при аспирации разрежение в укрытии, соединенном с воздухопроводом вытяжной вентиляции, не позволяет загрязненному воздуху поступать в воздух рабочей зоны. Отсосы от оборудования и аппаратуры выполняют заблокированными с пусковым устройством основного оборудования. Перед выбросом в атмосферу или рабочее помещение запыленный воздух подвергают предварительной очистке.

Важным показателем работы обеспыливающего оборудования является степень очистки воздуха:

$$K_0 = \frac{V_1 \cdot m_1 - V_2 \cdot m_2}{V_1 \cdot m_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где m_1 и m_2 – содержание пыли в воздухе соответственно до и после очистки, мг/м³;

V_1 и V_2 – объем воздуха соответственно до и после очистки, м³.

Очистка воздуха от пыли может быть грубой (задерживается крупная пыль – размеры частиц более 100 мкм), средней (задерживается пыль с размером частиц менее 100 мкм, а ее конечное содержание не должно быть более 100 мг/м³) и тонкой (задерживается мелкая пыль (до 10 мкм) с конечным содержанием в воздухе приточных и рециркуляционных систем до 1 мг/м³).

Обеспыливающее оборудование подразделяется на *пылеуловители* и *фильтры*. К пылеуловителям относятся пылеосадочные камеры, одиночные и батарейные циклоны, инерционные и ротационные пылеуловители. Фильтры в зависимости от принципа действия классифицируют на электрические, ультразвуковые, масляные, матерчатые, рукавные и др. (рисунки 1–2).

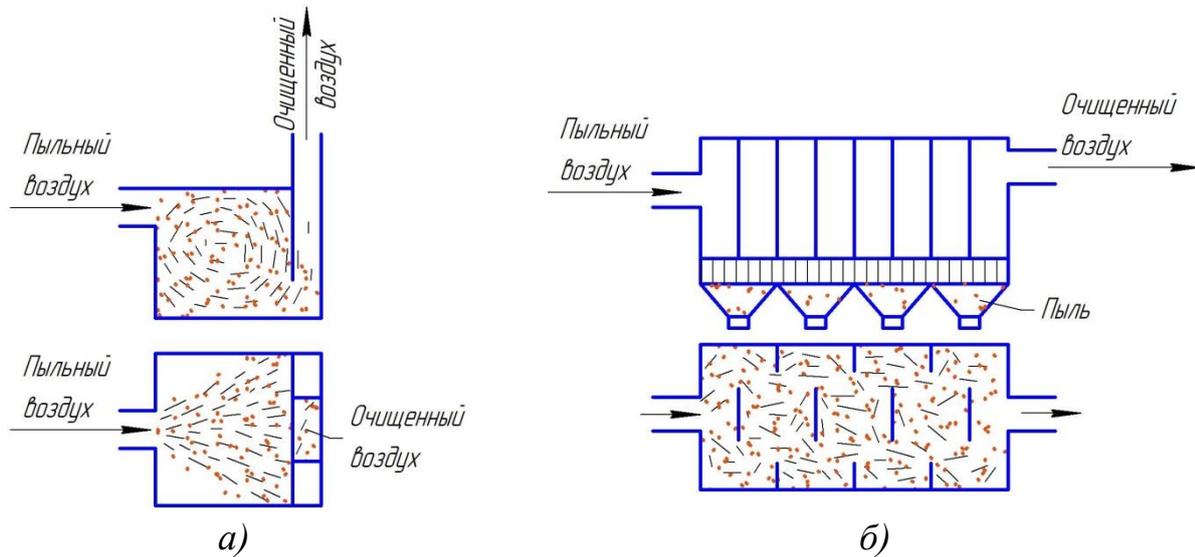


Рисунок 1 – Пылеуловительные камеры: *а* – простая; *б* – лабиринтная

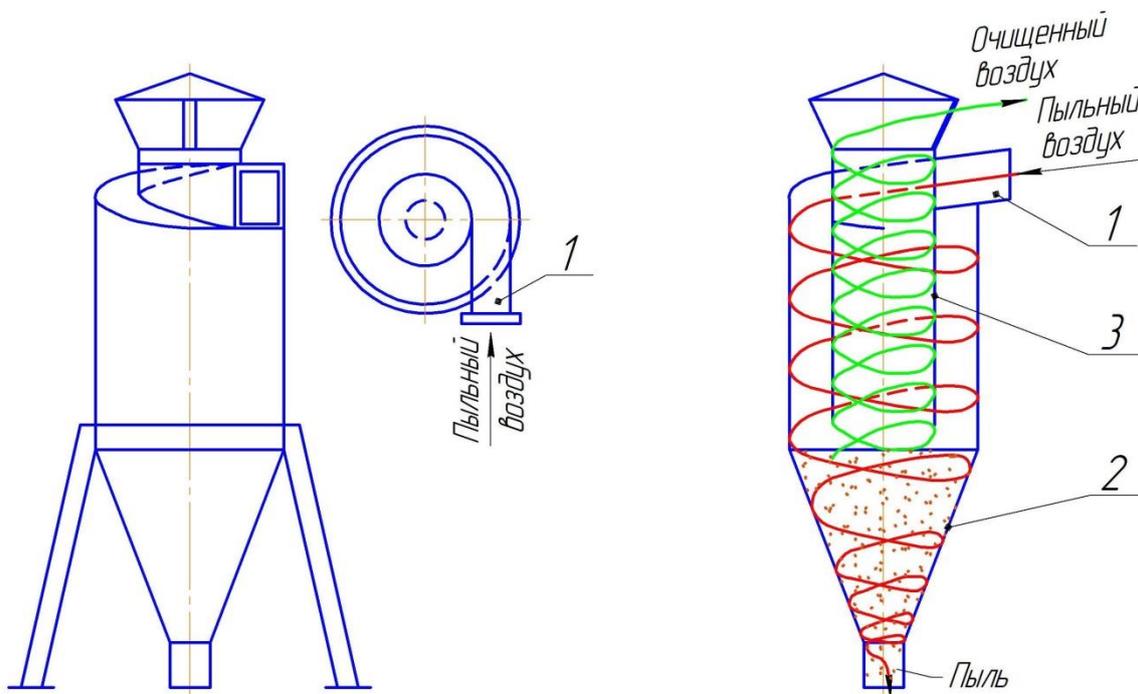


Рисунок 2 – Схема циклона: 1 – входной патрубок; 2 – дно конической части; 3 – центробежная труба

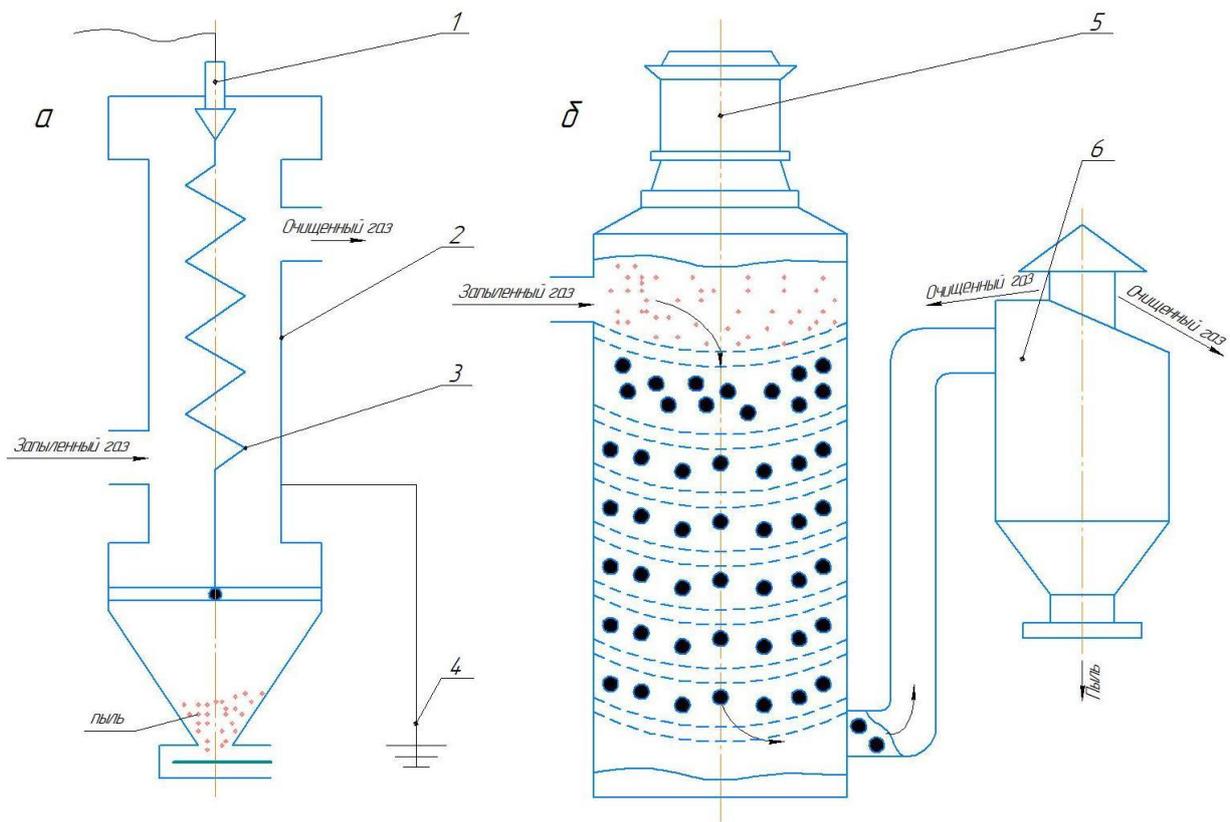


Рисунок 3 – Электрический (а) и ультразвуковой (б) фильтры: 1 – изолятор; 2 – стенка фильтра; 3 – коронирующий электрод; 4 – заземление; 5 – генератор ультразвука; 6 – циклон

Для определения качества воздуха на рабочем месте существуют методы контроля, которые подразделяются на две группы: первая – с выделением дисперсной фазы из аэрозоля (весовой и счетный методы), вторая – без выделения дисперсной фазы из аэрозоля (фотоэлектрические, электрометрические, радиационные и оптические методы). Наиболее часто применяются весовой и счетный методы. Обычно в практике инспекторского контроля предпочтение отдают весовому методу.

Пыль является одним из видов веществ в измельченном (дисперсном) состоянии, взвешенных в газовой, в частности, в воздушной среде. Понятию пыль близки понятия туман, дым, которые вместе с пылью объединяются общим термином аэрозоль. На практике трудно провести четкую границу между различными видами аэрозолей (пыль, туман, дым). Это объясняется тем, что часто возникают аэрозольные системы, состоящие из частиц различного происхожде-

ния. Кроме того, происходит непрерывное взаимодействие этих частиц, осаждение малых частиц на более крупных [2].

Интервал дисперсности аэрозольных частиц велик – от 10^{-7} до 10^{-1} см. Нижний предел определяется возможностью длительного самостоятельного существования малых частиц, верхний предел ограничен тем, что крупные частицы быстро осаждаются под действием силы тяжести и во взвешенном состоянии практически не наблюдаются.

Одно из определений пыли звучит следующим образом: **пыль** – совокупность мелкораздробленных частиц твердого вещества, находящегося во взвешенном состоянии. Пылью также называют совокупность осевших частиц. Пылевые частицы имеют разнообразную форму, в основном неправильную.

Пыли можно рассматривать как **дисперсные системы**: монодисперсные, т.е. состоящие из частиц примерно одинаковой величины, и полидисперсные, т.е. такие, в состав которых входят частицы различной величины. Промышленные пыли, как правило, полидисперсны.

Для правильного выбора пылеочистного оборудования, разработки новых и совершенствования существующих пылеочистных устройств, для проведения технологических мероприятий по уменьшению пылеобразования и пылевыделения необходимо знать основные свойства пыли.

К основным **физико-химическим свойствам** пыли относят ее дисперсность, т. е. степень измельчения, строение частиц, плотность, удельную поверхность, нижний и верхний пределы взрыва, электрические свойства и др.

Знание этих свойств позволяет судить о степени опасности данной пыли в санитарно-гигиеническом отношении, способности пыли образовывать взрывоопасные концентрации с воздухом, более или менее длительное время находиться в воздухе во взвешенном состоянии. Знание этих характеристик пыли совершенно необходимо для выбора методов и устройств для пылеулавливания.

Под понятием **дисперсности** пыли подразумевается распределение пыли по классам (фракциям) крупности; при этом под крупностью понимают наибольший или средний поперечный размер (диагональ частиц).

Дисперсность в значительной мере определяет свойства пыли. Объясняется это тем, что в результате измельчения изменяются некоторые качества вещества и приобретаются новые. Это связано с тем, что при диспергировании (измельчении) вещества многократно увеличивается его суммарная поверхность. Например, при измельчении тела, имевшего форму куба и размеры 1х1х1 см, и превращении его в частицы также кубической формы, но с размерами 1 мкм, суммарная поверхность материала куба возрастет в 10000 раз и станет равной 6 м³.

В результате резкого увеличения поверхности вещества очень сильно увеличивается его химическая активность. Вещества, которые в обычном состоянии очень пассивно реагируют с окружающим кислородом воздуха, находясь в измельченном состоянии, становятся химически активными. Очень быстро и интенсивно протекают химические реакции окисления этих веществ.

Физическая активность вещества также резко возрастает. Например, измельченные вещества растворяются во много раз быстрее, чем исходный материал.

Кроме физических и химических свойств, дисперсный состав определяет характер и условия распространения пыли в воздушной среде. При тонкой дисперсности пыль более долговечна, так как осаждается значительно медленнее или практически совсем не осаждается. Сфера рассеивания пылевых частиц, таким образом, непосредственно зависит от дисперсного состава пыли. Основной вопрос пылеулавливания - выбор пылеочистного оборудования - в значительной мере определяется дисперсным составом улавливаемой пыли.

Исходя из этого, дисперсный состав пыли имеет первостепенное значение, и без его знания нельзя решать вопросы эффективного пылеулавливания.

Дисперсный состав пыли определяется путем лабораторного исследования различными методами.

Обычно, пылевые частицы имеют неправильную форму. Поэтому важно выразить размер пылевой частицы так, чтобы он был более характерен.

Существует несколько способов определения размеров пылевых частиц:

- по размеру в свету наименьших отверстий сита, через которые проходят данные частицы;
- по диаметру шарообразных частиц или по наибольшему линейному размеру частиц неправильной формы;
- по диаметру условных шарообразных частиц, обладающих при одинаковой плотности скоростью витания, равной скорости витания данной пылевой частицы.

Скорость витания – это скорость осаждения частицы пыли в неподвижном воздухе.

При определении дисперсного состава пыли, т.к. промышленные пыли, как правило, полидисперсны, следует распределять пылевые частицы по размерам. Весь диапазон размеров частиц, который встречается в данной пыли, разбивают на фракции. Фракция объединяет пылевые частицы, находящиеся в пределах одного интервала значений размеров рекомендуемой шкалы. Например, применяется следующая шкала размеров пылевых частиц: 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 мкм.

Различные по размерам частицы подчиняются различным физическим законам. Так, перемещение частиц различных размеров происходит по законам гравитации, закону Стокса, законам броуновского движения.

Для улавливания частиц малых размеров необходимо специальное пылеочистное оборудование.

2 МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ

Концентрацию пыли в воздухе определяют двумя способами [3, 4]:

- с предварительным осаждением пыли (весовой, радиоизотопный, оптический, пьезоэлектрический методы, метод, основанный на улавливании пыли водой, метод механических вибраций, метод, основанный на измерении перепада давлений на фильтре);

– без предварительного осаждения пыли (акустический, оптический, электрический методы).

При измерении концентрации пыли в атмосферном воздухе и в воздухе помещений предпочтение отдают методам, основанным на предварительном осаждении, поскольку большинство из них позволяет определить массовую концентрацию пыли, что особенно важно при проведении контроля состояния помещений. Кроме того, эти методы менее чувствительны к изменениям свойств пыли, что особенно характерно для атмосферной пыли.

Чаще всего для выделения частиц пыли из воздушной среды используют метод фильтрации, хотя применяют и методы, основанные на использовании электростатических, центробежных, инерционных сил.

С помощью методов центробежного и инерционного осаждения можно выделить только крупные частицы пыли размером более 0,5-1 мкм. Метод фильтрации позволяет выделить частицы размером до 0,1 мкм. Методом электростатического осаждения удастся выделить мелкие частицы размером до 0,01 мкм [5].

При исследовании пыли с широким диапазоном размеров частиц необходимо использовать не один, а несколько методов пылевыведения.

3 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛИ

Для определения дисперсного состава пыли используется ряд методов, которые основаны на различных физических принципах. Выбор метода определяется видом пыли, требуемой точностью, наличием соответствующего оборудования и другими факторами.

Применяют следующие методы определения дисперсного состава пыли:

– **ситовый анализ** – разделение частиц на фракции путем последовательного просеивания навески пыли через лабораторные сита с отверстиями различных размеров;

- **седиментометрия** – 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.

Ситовый анализ. Пробу (навеску) пыли разделяют на фракции последовательно просеивая ее через сито с отверстиями разного размера.

Наименьший размер отверстий в ситах – 40 мкм. Таким образом, ситовый метод позволяет определить дисперсный состав пыли с размером частиц выше 40 мкм и не дает возможность определить распределение пылевых частиц в области более тонких фракций, представляющих наибольшую опасность. В этом состоит недостаток ситового метода. Применяют ручной и механический просев. Ручной просев обычно используют при исследовательской работе, а также для ответственных производственных анализов.

Седиментометрический метод анализа. Основан на том, что время осаждения пылевых частиц в жидкой среде зависит от их размера, выраженного через эквивалентный диаметр. Эквивалентный диаметр – это диаметр шара, имеющего такую же массу и плотность, как и данная частица.

Если известно время осаждения частиц на определенную глубину, расчетным путем можно определить эквивалентный диаметр частиц. Последовательное взвешивание осадка позволяет определить процентное содержание этих частиц в пробе пыли.

Микроскопический метод. Применение этого метода позволяет рассмотреть пылевые частицы размером до 1 мкм. Можно изучить строение пылевых частиц, сделать микрофотографии пыли. Могут быть определены размеры пылевых частиц и их количество.

При применении микроскопического метода дисперсный состав пыли определяют, измеряя частицы и определяя количество частиц каждой фракции.

Микроскопический метод трудоемок, однако для некоторых видов пыли является единственно возможным методом исследований.

Метод центробежной сепарации. Последовательное отделение фракций от исследуемой навески пыли осуществляется под действием центробежной силы. Возникающая в аппарате центробежная сила в сотни раз больше силы тяжести, на использовании которой основан метод седиментометрии. В результате, время проведения анализа значительно сокращается.

Для анализа пыли по методу центробежной сепарации применяется аппарат "Бако" (рисунок 4). Суть действия этого прибора состоит в том, что в вихревое поле, которое имеет траекторию плоской спирали, вводят исследуемую пыль. Происходит разделение пыли на две фракции, затем отделяют следующую фракцию и т.д. Таким образом, последовательно разделяют исследуемую навеску пыли на восемь фракций.

Аппарат "Бако" не применяется для анализа слипающихся и волокнистых пылей, так как они забивают камеру разделения прибора и нарушают его работу.

Дисперсный состав пыли, полученный аналитическим путем, может быть представлен в табличной форме или в виде графика. Графическое изображение дисперсного состава более наглядно. Дисперсный состав пыли часто изображают в вероятностно-логарифмической системе координат. На оси абсцисс откладывают логарифмы диаметров частиц, на оси ординат - массу данной пыли соответствующего размера в процентах.

Распределение массы пыли по диаметрам выражается прямой или близкой к ней линией.

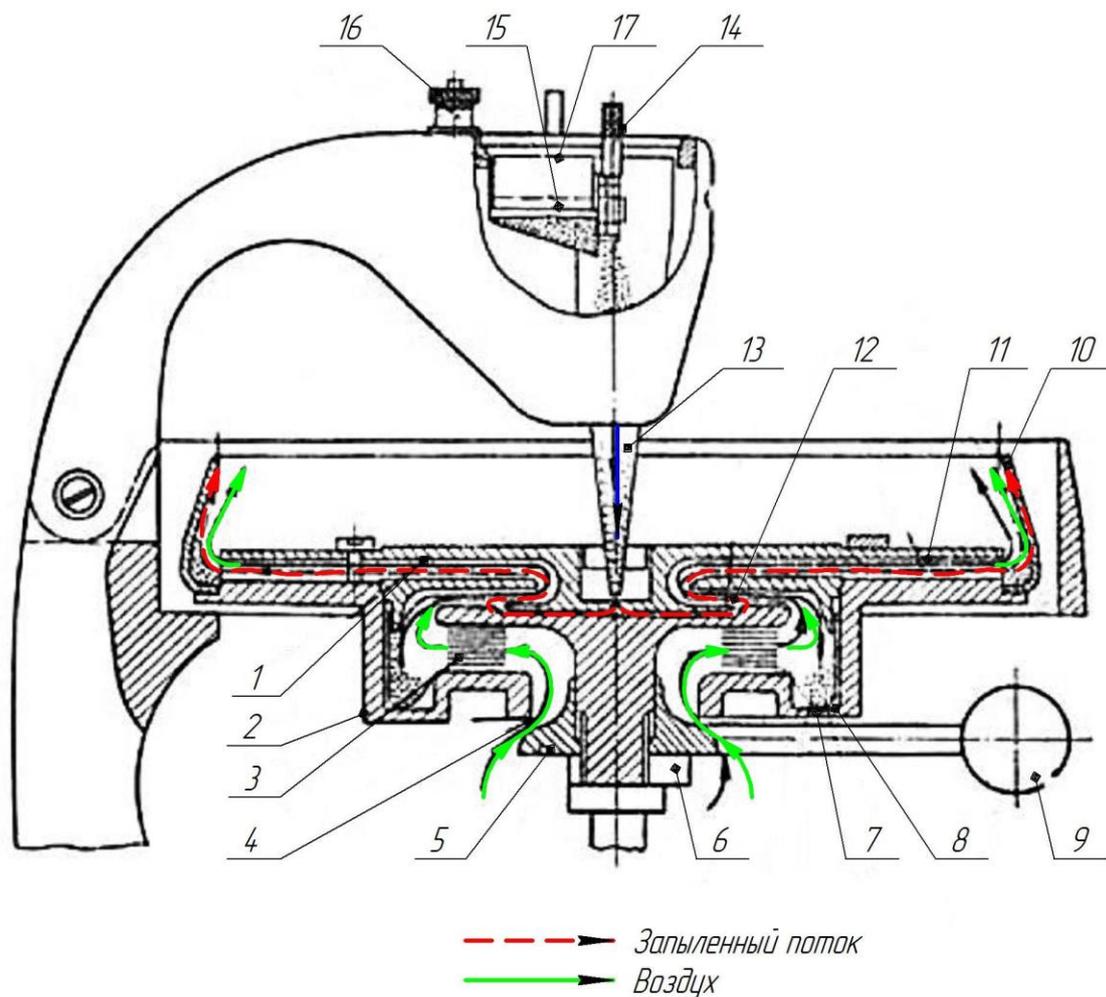


Рисунок 4 – Схема центробежного сепаратора "Бако": 1 - верхняя часть ротора; 2 - нижняя часть ротора; 3 - выпрямитель воздушного потока; 4 - кольцевая щель; 5 - коллектор; 6 - подкладка; 7 - пылесборник; 8 - пыль (крупная фракция); 9 - рукоятка тормоза; 10 - борт ротора; 11 - крыльчатка вентилятора; 12 - камера сепарации; 13 - питающая воронка; 14 - винт заслонки; 15 - исследуемая пыль; 16 - винт вибропитателя; 17 - вибропитатель.

Академиком А.Н. Колмогоровым теоретически обосновано, что дисперсность частиц, образующихся при измельчении материала в течение достаточно длительного времени, подчиняется логарифмическому нормальному закону распределения.

Справедливость этого положения была неоднократно подтверждена экспериментально.

Существует следующая характеристика классификационных групп пыли:

I – очень крупнодисперсная;

II – крупнодисперсная;

III – среднедисперсная;

IV – мелкодисперсная;

V – очень мелкодисперсная.

4 ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА

Приборы для количественного определения пыли в воздухе можно разделить на две группы: приборы для отбора проб и анализирующие приборы (таблица 1) [6-9].

Приборы для отбора проб (пробоотборники, аспираторы) предназначены только для отбора проб с целью контроля газового и аэрозольного загрязнения воздуха. Отбор проб производится на фильтры или поглотители. Для получения данных о запыленности воздуха фильтры с осевшей пылью взвешивают. Большинство пробоотборников снабжены таймером, который прекращает пробоотбор по истечении заданного времени. Эти приборы более доступны по цене, чем анализирующие. Основным недостатком данных приборов является необходимость дальнейшего анализа отобранных проб, что значительно увеличивает время получения результатов.

Анализирующие приборы (анализаторы пыли, измерители концентрации пыли, пылемеры) позволяют отобрать и сразу проанализировать пробу воздуха. Полученные данные о запыленности высвечиваются на дисплее в виде отдельных значений, таблицы или гистограммы, а также могут быть распечатаны или записаны в память прибора. Достоинствами анализирующих приборов являются быстрота получения данных (от 30 секунд до нескольких минут) и возможность их получения в распечатанном виде, возможность работы в непрерывном режиме измерений, наличие системы сигнализации превышения заданной концентрации. Недостатком же является их высокая стоимость, которая в 3-20 раз может превышать стоимость пробоотборников.

Особенно важно учесть возможность работы прибора от аккумуляторов при определении запыленности воздуха в хранилищах, где часто в целях соблюдения пожарной безопасности отсутствуют электрические розетки.

Принцип действия aspirатора модели ПУ-4Э

К входному штуцеру aspirатора с помощью гибкого шланга присоединяется фильтр в фильтродержателе. Воздух просасывается через фильтр, оставляя на нем содержащиеся примеси. Зная скорость прохождения воздуха и время отбора пробы, определяют объем воздуха, прокаченный через фильтр. Количество осевшей на фильтре пыли определяют весовым методом. Запыленность воздуха рассчитывают, исходя из количества пыли и объема прокаченного воздуха [10]. Aspirатор ПУ-4Э (рисунок 5) работает от сети переменного тока, либо аккумулятора и потребляет мощность 80 Вт. Необходимая скорость прохождения воздуха регулируется путем вращения ручек вентиля ротамеров. Ротамеры, предназначенные для измерения расхода воздуха, представляют собой градуированные стеклянные трубки с поплавками. Первые два ротамера aspirатора служат для отбора проб воздуха на запыленность (от 0 до 20 л/мин), вторые — на загазованность (от 0 до 2 л/мин) [10]. Для определения загазованности воздуха используют специальные поглотительные трубки.

Таблица 1 – Приборы для определения запыленности воздуха

Название	Фильтры	Диапазон измерений, мг/м ³	Масса, кг
1	2	3	4
Приборы для отбора проб			
Aspirатор для отбора проб воздуха (Модель 822, ПУ-4Э)	АФА-ВП	-	8,5
Aspirатор (Модель А-01*)	АФА	-	4,0
Дозиметр пыли ДП-1	АФА-ВП-10	-	0,5
Пробоотборник четырехканальный АПП-3-4	АФА-ВП, АФА-ХП, АФА-РП	-	7,5
Пробоотборник пыли АПП-6-1,01 автоматический*	АФА-ВП, АФА-ХП, АФА-РП	-	3,5
Пылепробоотборник ПП-2*	АФА-ВП	-	3,5

Анализирующие приборы			
Анализатор пыли (Модель ДАСТ-1*)	АФА-ДП-3	0,01-100	7,5
Анализатор пыли (Модель TSI 8520*)	-	0,01-100	1,5
Анализатор пыли (Модель F-701 Verewa)	-	0-0,1; 0-10	22
Газоанализатор универсальный ГАНК-4*	Химкассета	0,03-1,0	3,5-5
Измеритель концентрации пы- ли ИКП-4М*	-	0,01-10; 0,1-100; 0,001-1	1,5
Измеритель концентрации пы- ли Прима-01*, Прима-03*	-	1,0-99	3,5
Измеритель массовой концен- трации аэрозольных частиц Аэрокон	-	0,1-100	2
Измеритель концентрации взвешенных частиц ИКВЧ*	-	0-3000	6
Прибор сангигиенконтроля за- пыленности и задымленности атмосферы ИКАР (Модель ФБ- 01*)	-	0,5-500	2,2
Счетчик аэрозольных частиц МОНИТОР-93Б	-	1-10 ⁵ частиц/дм ³	5
ТМ-data*, ТМdigitalµP*	-	0,01-50	0,98
ТМ-М*	-	0-1; 0-10	1,0

* Приборы могут иметь питание от аккумулятора

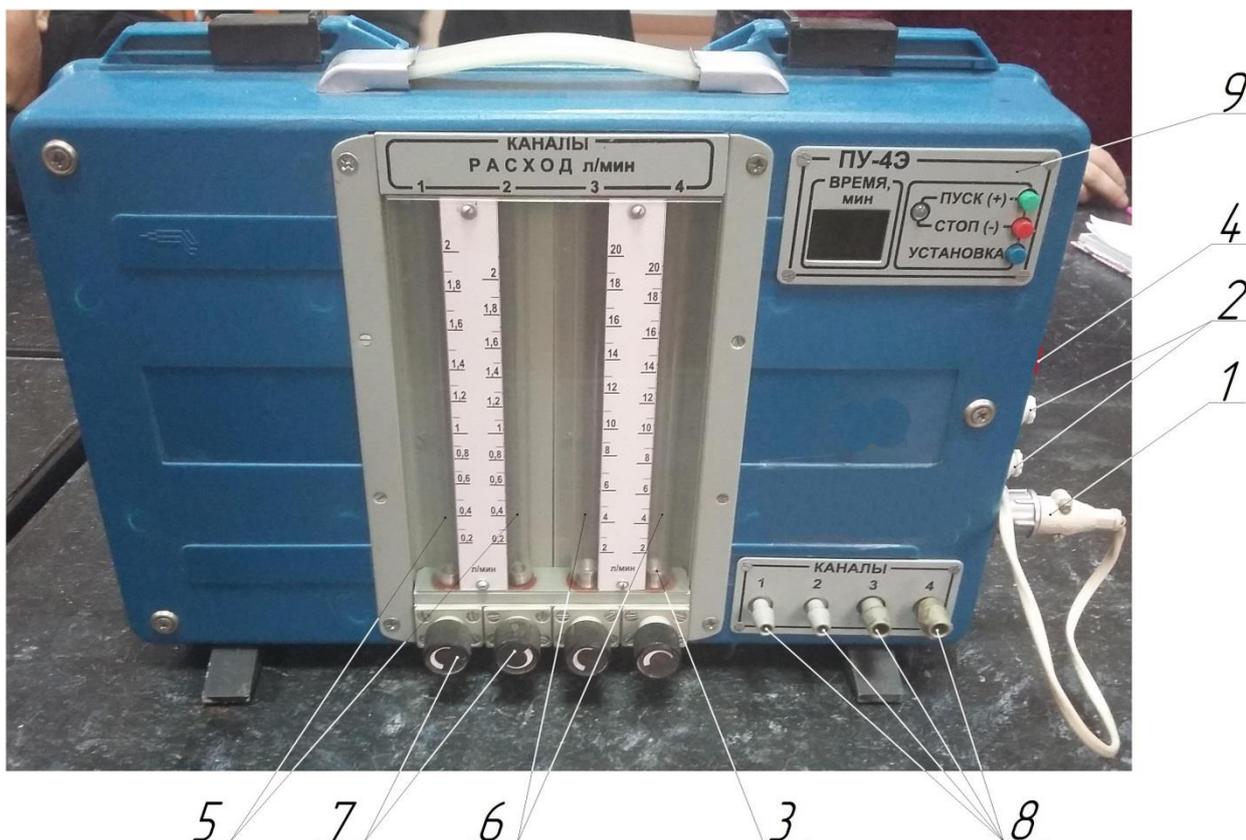


Рисунок 5 – Аспиратор для отбора проб модели ПУ-4Э: 1 – входная колодка подвода электроэнергии; 2 – предохранители; 3 – поплавков ротаметра; 4 – тумблер включения и выключения аспиратора; 5 – ротаметры для определения запыленности; 6 – ротаметры для определения загазованности; 7 – ручка вентиля ротаметра; 8 – входной штуцеры; 9 – блок управления таймером

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА ВЕСОВЫМ МЕТОДОМ

Далее будет описан способ определения концентрации пыли весовым методом с помощью аспиратора модели ПУ-4Э.

Фильтры. В качестве фильтрующего материала используют пористые вещества (вату, асбест, бумагу, стекловолокно). В отечественных приборах давно применяют аналитические аэрозольные фильтры АФА, которые обладают высокой эффективностью фильтрации и малым аэродинамическим сопро-

тивлением. Эти фильтры улавливают частицы размером 0,1-0,2 мкм при объемной скорости прокачивания воздуха до 6 м³/ч [3].

Для весового метода удобно использовать перхлорвиниловые фильтры АФА-ВП-10 и АФА-ВП-20 (таблица 2), однако их невозможно использовать для сред, содержащих ацетон, бензол, ксилол [3, 11].

Таблица 2 – Технические характеристики фильтров АФА-ВП

Характеристика	АФА-ВП-10	АФА-ВП-20
Площадь рабочей поверхности	10 см ²	20 см ²
Температура воздуха при отборе пробы	-200 ... +60°С	
Сопротивление фильтра потоку воздуха при скорости 1 см/с	0,3 мм вод.ст.	
Допустимая воздушная нагрузка	7 л/(мин·см ²)	

Для соединения фильтров с аспиратором используют различные фильтродержатели (алонжи, аэрозольные патроны), например, изготовленные из алюминия или ударопрочного полистирола ИРА-10 и ИРА-20. Цифры в маркировке указывают на размеры используемого фильтра, например, фильтродержатель ИРА-10 используется для фильтров АФА-10 (рисунок 6).



Рисунок 6 – Фильтродержатель ИРА-10: 1 – фильтродержатель, 2 – фильтр АФА, 3 – фильтр в фильтродержателе, соединенном с гибким шлангом

При определении концентрации пыли в воздухе также есть несколько моментов, которые необходимо учесть:

1. Включать aspirator без фильтров нельзя, иначе он может преждевременно выйти из строя из-за загрязнения воздуходувки. Поэтому для установления необходимой скорости прохождения воздуха используют пробный фильтр [10].

2. В комплект поставки фильтров АФА-ВП, как правило, входят сами фильтры с бумажной подложкой и бумажные держатели для фильтров (рисунок 7). Поскольку фильтры изготовлены из тонких волокон, которые легко отделяются, то в процессе работы волокна могут остаться на пальцах или фильтродержателе. Кроме этого, как показал наш опыт использования фильтров АФА, фильтры нельзя складывать один на другой, так как впоследствии их трудно отделить друг от друга. Поэтому для исключения потери массы фильтров целесообразно их сразу вставлять в бумажные держатели и после взвешивания каждый фильтр в бумажном держателе помещать в отдельный пакет.



Рисунок 7 – Фильтр АФА-ВП-10: 1 – бумажная подложка, 2 – фильтр, 3 – бумажный держатель для фильтра, 4 – фильтр в бумажном держателе

3. Фильтры АФА-ВП-10 не требуют особой подготовки, так как обладают водоотталкивающими свойствами, но их взвешивают вместе с бумажными держателями, а бумага хорошо впитывает и отдает влагу. Поэтому, как и при определении запыленности документов, мы должны учитывать влажность

фильтров с держателями, так как абсолютные величины оседающей пыли очень малы (в среднем 0,1–10 % от массы фильтра).

5.1 Методика определения запыленности воздуха весовым методом с помощью aspirатора модели ПУ-4Э

Все необходимые данные и результаты измерений запыленности вносят в форму ведомости, представленную в приложении 5.

Графа 1 — название объекта отбора пробы. Для достоверной оценки запыленности воздуха необходимо отбирать в разных точках 5-15 проб.

Графа 2 — номера фильтров (фильтры нумеруют на бумажных держателях). Фильтры АФА-ВП-10 перед взвешиванием помещают на 0,5–1 ч около весов, чтобы температура и влажность фильтров сравнялась с температурой и влажностью воздуха в футляре весов. Фильтры аккуратно отсоединяют от бумажной подложки и помещают в бумажные держатели.

Графа 6 — начальные массы фильтров для отбора проб, которые взвешивают на весах с точностью $\pm 0,0001$ г или $\pm 0,00001$ г. Пробные фильтры, предназначенные для регулировки объемного расхода воздуха aspirатора (скорости прохождения воздуха), не взвешивают.

Пробный фильтр в бумажном держателе вставляют в фильтродержатель, который через гибкую полимерную трубку (резиновый шланг) соединяется с входным штуцером aspirатора.

Вентили ротаметров, не соединенных с фильтром, должны быть закрыты. Устанавливают необходимый расход (скорость) воздуха, величину которого определяют по показаниям каждого ротаметра. Исходя из площади рабочей поверхности фильтра АФА-ВП-10 и допустимой воздушной нагрузки на фильтр (таблица 2), скорость прохождения воздуха через фильтр не должна превышать 70 л/мин. Отсчет скорости прохождения воздуха производят по верхнему краю поплавка.

Опытный фильтр в бумажном держателе вставляют в фильтродержатель, включают aspirator на определенное время.

Графа 3 — продолжительность отбора пробы (τ), мин.

Графа 4 – расход воздуха (ν), л/мин. Длительность прокачивания воздуха через один фильтр определяется двумя факторами [3]:

– точностью весового метода, поэтому количество пыли на фильтре должно быть не менее 1-2 мг;

– пылеемкостью применяемого фильтра: например, для АФА-ВП-10 количество собранной пыли на фильтре должно быть не более 25 мг.

Поэтому количество прокачиваемого воздуха зависит от степени запыленности помещения и определяется опытным путем.

Графа 5 — объем воздуха, прошедшего через фильтр (V), л в нормальных условиях рассчитывается

$$V = \nu \cdot \tau. \quad (2)$$

где ν – расход воздуха, л/мин;

τ – продолжительность отбора пробы, мин.

С целью корректировки показаний и приведения их к нормальным условиям (температуре 20 °С и давлении 760 мм рт. ст.) объем пропущенного через фильтр воздуха определяется по следующей формуле

$$V_{\text{std}} = \frac{V \cdot (273 + 20) \cdot P}{(273 + t^\circ) \cdot 760}, \quad (3)$$

где V_t – объем воздуха, отобранного для анализа, л;

P – барометрическое давление, мм рт. ст. (760 мм рт. ст. = 101,33 кПа);

t° - температура воздуха в месте отбора пробы, °С.

После отбора проб фильтры в течение 0,5–1 ч должны выдерживаться в одинаковых условиях температуры и влажности воздуха.

Графа 7 — конечные массы фильтров после прокачивания воздуха.

Графа 8 — результаты расчета изменения массы фильтров ΔM_x по формуле:

$$\Delta M_x = M_{\text{кон}} - M_{\text{нач}}, \quad (4)$$

где ΔM_x — изменение массы фильтра, мг;

$M_{\text{кон}}$ — масса фильтра после отбора проб воздуха, мг;

$M_{\text{нач}}$ — начальная масса фильтра, мг.

Графа 9 — Концентрация пыли в воздухе рабочей зоны определяется по формуле

$$C = \frac{\Delta M_x \cdot 1000}{V_{\text{стд}}}, \quad (5)$$

где ΔM_x — масса пыли (изменение массы фильтра), мг;

$V_{\text{стд}}$ — объем пропущенного через фильтр воздуха, л.

6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ПЫЛИ МЕТОДОМ МИКРОСКОПИРОВАНИЯ

Оценка размеров частиц с помощью микроскопа производится следующими способами [12]:

- замером наибольшего размера каждой частицы;
- измерением каждой частицы в одном и том же направлении, т.е. определением линейной проекции частиц на некоторую общую ось [13];
- определением «диаметра Мартина» — длины линии, ограниченной контуром профиля и делящей примерно пополам площадь профиля; линия может быть проведена в любом направлении, но должна быть идентично ориентирована при измерении всех профилей;
- вычислением диаметра круга, имеющего площадь, эквивалентную проектируемой на прозрачную подложку площади частицы (так называемый проектированный диаметр);

– вычислением среднего размера по полусумме длины и ширины частицы.

Для достоверности получаемых результатов необходимо представительное минимальное число подсчитанных пылевых частиц. Бурштейн считал необходимым измерить 300 – 500 частиц в тех случаях, когда они не резко различаются по размерам и 1000 – 2000 при значительных колебаниях.

Ромашов предлагал определять минимальное число учетных секторов, полей зрения или частиц для достижения заданной точности результатов на основании обработки методами математической статистики предварительных опытных данных.

При микроскопическом анализе дисперсного состава пыли представляется удобным распределение на фракции по шкале с модулем 2, а именно: 1; 2; 4; 8; 16; 32 мкм.

При большом увеличении поле зрения в микроскопе очень мало. Несмотря на просмотр многих полей зрения и большое число просчитанных и измеренных частиц, число крупных частиц может оказаться недостаточным для достоверности расчета их распределения. Наиболее крупные частицы могут вообще не попасть в просмотренные поля зрения.

Для того чтобы избежать этой ошибки рекомендуется производить отдельно подсчет частиц мельче 8 мкм при увеличении около $1000 - 1200^x$, а частиц крупнее 4 мкм – при увеличении примерно 100^x . При каждом увеличении должно быть просмотрено не меньше 10 полей. Если плотность расположения частиц на препарате недостаточно равномерна, то обобщение подсчетов при большом и малом увеличении рекомендуется производить по фракции 4 – 8 мкм, подсчитываемой при обоих увеличениях.

Большой интерес представляет пересчет дисперсного состава пыли, полученного счетным методом, на соотношение фракций по массе частиц. Для частиц правильной геометрической формы это в первом приближении представляется выполнимым. В действительности частицы пылей и порошков имеют неправильную геометрическую форму. Кроме того, существует мнение, что их форма может

изменяться с изменением размера частиц. Вследствие этого до настоящего времени не существует надежного метода пересчета, хотя в принципе такая возможность не отрицается, в частности путем установления переводных пофракционных коэффициентов для каждого вида пыли.

Размеры рассматриваемых под микроскопом частиц определяют путем сравнения их со шкалой окуляр-микрометра. Цена деления его шкалы определяется при помощи объект-микрометра, представляющего собой шкалу длиной 1 мм, разделенную на 100 частей (цена одного деления 10 мкм). Эта шкала, выгравированная на специальном предметном стекле, рассматривается через микроскоп как объект.

В фокальной плоскости окуляра микроскопа помещается сетка со шкалой. Подсчитывается число делений изображения объект-микрометра, приходящихся на несколько делений окулярного микрометра и вычисляется цена деления окуляр-микрометра.

Для облегчения и ускорения подсчета числа и определения размера частиц взамен линейного окуляр-микрометра разработаны специальные масштабные сетки. На рисунке 8, *a* изображен дисковый компаратор, представляющий собой стекло, помещаемое в фокальную плоскость окуляра. На стекле нанесены 10 светлых и 10 затемненных кружков. Цифры показывают относительный диаметр каждого кружка, с помощью объект-микрометра определяют цену диаметра наименьшего кружка при данной оптической системе и далее рассчитывают цены диаметров остальных кружков. Прямоугольником выделен участок, на котором производится подсчет частиц. Размер частицы определяют, сравнивая ее с соответствующим кружком. Аналогичная сетка с кружками различных диаметров была разработана Богуславским.

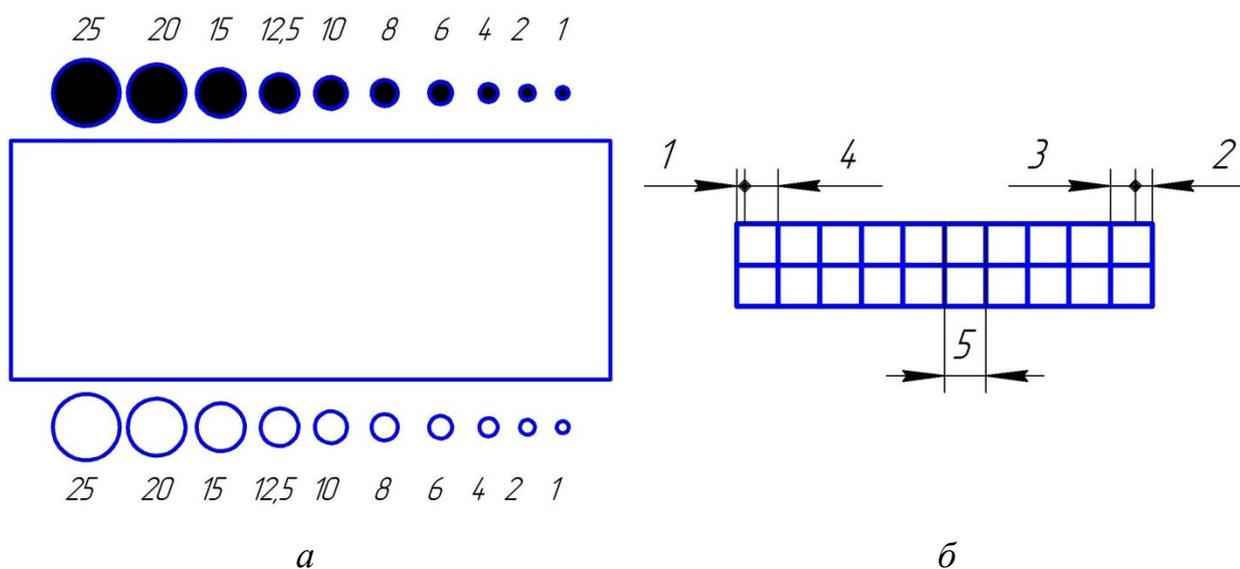


Рисунок 8 – Дискový компаратор (а) и счетно-измерительная сетка Вигдорчик (б)

Другим вариантом приспособления для подсчета числа и определения размера частиц является сетка Вигдорчик (рисунок 8, б). Она состоит из двух рядов квадратных клеток. Размеры клетки рассчитаны так, что при обычно применяемом увеличении 1200^x для подсчета и измерения частиц сторона клетки равна 5 мкм. При небольшой разнице в увеличении (не более 2,5 %) возможно подогнать цену деления клетки к этому размеру изменяя длину тубуса. На крайних клетках нанесены дополнительно деления, соответствующие 1, 2, 3 и 4 мкм. Сопоставляя размер частиц с делениями сетки, их распределяют по фракциям.

Более высокой точности достигают с помощью окулярного винтового микрометра, который может быть использован с любым микроскопом, имеющим наружный диаметр тубуса 25 мм. Микрометр МОВ-1 состоит из окуляра с увеличением 15^x и неподвижной шкалы с подвижной нитью или сеткой (видимыми в поле зрения). Нить перемещается с помощью микрометрического винта с шагом 1 мм. На барабане винта нанесено 100 делений. Цена деления 0,01 мм. За один оборот винта нить перемещается на одно деление неподвижной шкалы. Цена деления барабана в предметной плоскости объектива определяется с помощью объект-микрометра. При определении размера пылевой частицы обыч-

ным путем по неподвижной шкале подсчитывается целое число делений, занимаемых частицей. Для определения величины неполного деления подвижная нить с помощью винта перемещается от последнего деления, занятого частицей, до края частицы. По числу делений на головке винта при его повороте, с учетом цены деления, вычисляется истинная доля неподвижной шкалы, занятая частицей.

Удобно рассматривать и производить подсчет и измерение частиц по изображению препарата на экране. При определении масштаба изображения измеряется цена деления объект-микрометра на экране. При этом увеличение микроскопа может быть не выше 300—500^x. Оно ограничивается освещенностью получаемого на экране изображения.

Для облегчения и ускорения подсчета частиц применяются счетчики, позволяющие, не отрываясь от окуляра, путем нажима кнопки соответствующего циферблата отсчитывать число просмотренных частиц по размерам. Такие счетчики легко изготовить из стандартных деталей. Одним из таких полуавтоматических приборов является счетчик, в котором использованы телефонный искатель ШИ-17 и телефонные счетчики СЧ-3.

Для определения дисперсного состава изображение образца проектируется с негатива на экран. Измерение размеров частиц производится путем перемещения с помощью микрометрического винта визира от одного края частицы до другого.

Автоматические приборы для подсчета числа частиц и разделения их на фракции основываются на методе сканирования («развертывания») образца лучом. Сканированием называется последовательное измерение интенсивности светового потока в каждой точке строки препарата. Различают следующие варианты сканирования в зависимости от расположения элементов микроскопа и сканирующей диафрагмы, т.е. когда последняя помещается:

1. непосредственно перед светоприемником — развертка в плоскости изображения;
2. под микроскопом — развертка в плоскости препарата;

3. над источником света — развертка в плоскости источника света (бегущий луч).

Для счета и измерения размеров частиц на пылевых препаратах сканированием бегущим лучом наиболее перспективно применение метода сканирования узкой строкой, схема которого приведена на рисунке 9.

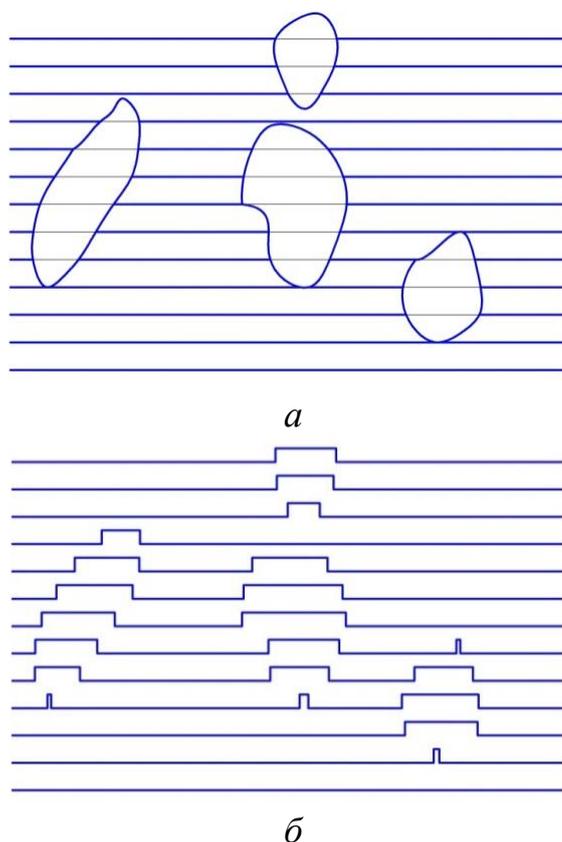


Рисунок 9 – Сканирование по метолу узкой строки: *a* — схема; *б* — вид выходных сигналов

В настоящее время при микрокопировании для определения размеров частиц и распределения их числа по фракциям используют компьютерную технику, что позволяет получить более полную информацию, чем при обычном рассмотрении препаратов под микроскопом.

6.1 Подготовка препаратов

Приготовить препараты пыли для рассмотрения под микроскопом. Их можно приготовить 2-мя способами:

- по методу осветления фильтров;
- запылением предметного стекла.

В первом случае запыленный фильтр из материала ФПП-15 подвергают воздействию паров ацетона. Материал фильтра расплавляется, образуя прозрачную пленку, и фиксирует частицы пыли.

Для приготовления препарата пылей, взаимодействующих с растворителем, этот метод непригоден.

В данной работе препарат для микроскопирования приготовлен другим способом: предметное стекло, сухое или покрытое липким прозрачным веществом (желатин из агар-агара), запыляют, а затем накрывают покровным стеклом.

6.2 Определение увеличения микроскопа

Для определения объективного размера пылевых частиц необходимо точно знать увеличение микроскопа МБС-10, которое равно произведению увеличений используемых в данный момент окуляров и объективной части [14]:

$$U = U_{\text{ок}} \cdot U_{\text{об}}, \quad (6)$$

где $U_{\text{ок}}$ – увеличение окуляра, крат;

$U_{\text{об}}$ – увеличение объективной части, крат.

Таким образом, используя окуляр 8^{\times} с измерительной шкалой и объективную часть с увеличением 4^{\times} получим:

$$U = 8 \cdot 4 = 32 .$$

Оптические характеристики микроскопа МБС-10 приведены в таблице 3 [14].

Таблица 3 – Оптические характеристики микроскопа

Увеличение объективной части, крат	Увеличение микроскопа, крат		Поле зрения в плоскости объекта, мм	
	Увеличение окуляра			
	8	14	8	14
0,6	4,8	8,4	39,6	29,7
1	8,0	14,0	23,0	16,8

2	16,0	28,0	11,2	8,4
4	32,0	56,0	5,6	4,2
7	56,0	100,0	3,2	2,4

6.3 Общие указания по работе с микроскопом

Сфокусировать микроскоп на объект, вращая рукоятки 11 (рисунок 10).

Установить межзрачковое расстояние прибора в соответствии с базой глаз наблюдателя, вращая рукоятку 10.

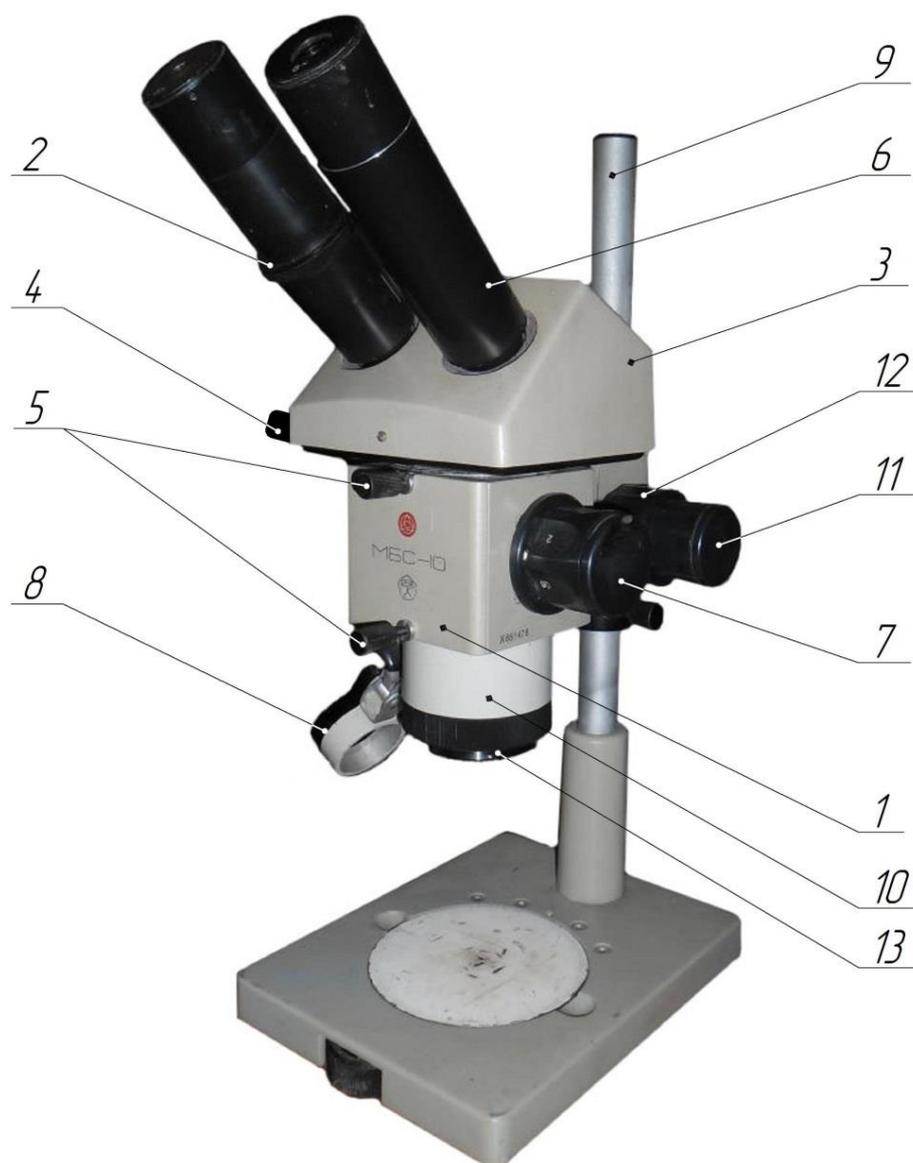


Рисунок 10 – Общий вид микроскопа МБС-10: 1 – корпус с барабаном;

2 – кольцо диоптрийной наводки; 3 – бинокулярная насадка;

4 – рукоятка механизма изменения межзрачкового расстояния; 5 – винты, фиксирующие бинокулярную насадку и объектив; 6 – окулярная трубка; 7 – рукоятка переключения увеличений; 8 – кронштейн светофильтра; 9 – стойка; 0 – объектив $f = 90$ мм; 11 – рукоятка фокусировки; 12 – рукоятка регулировки хода; 13 – кольцо

При работе на больших увеличениях следует пользоваться рукояткой регулировки хода 12 при фокусировке на объект. Выбрать положение осветителя, вращая его относительно объектива вместе с кронштейном и подбирая удобный угол наклона.

Диоптрийную наводку следует использовать после того, как микроскоп сфокусирован на объект по ветви, которая не имеет диоптрийной наводки.

6.4 Определение размера частиц при помощи окуляра 8х с измерительной шкалой

Окуляр имеет механизм диоптрийной наводки. В фокальной плоскости окуляра установлена шкала, вместо которой можно установить сетку. Шкала представляет собой плоскопараллельные стеклянные круглые пластинки. На ней нанесена шкала с ценой деления 0,1 мм (рисунок 11).

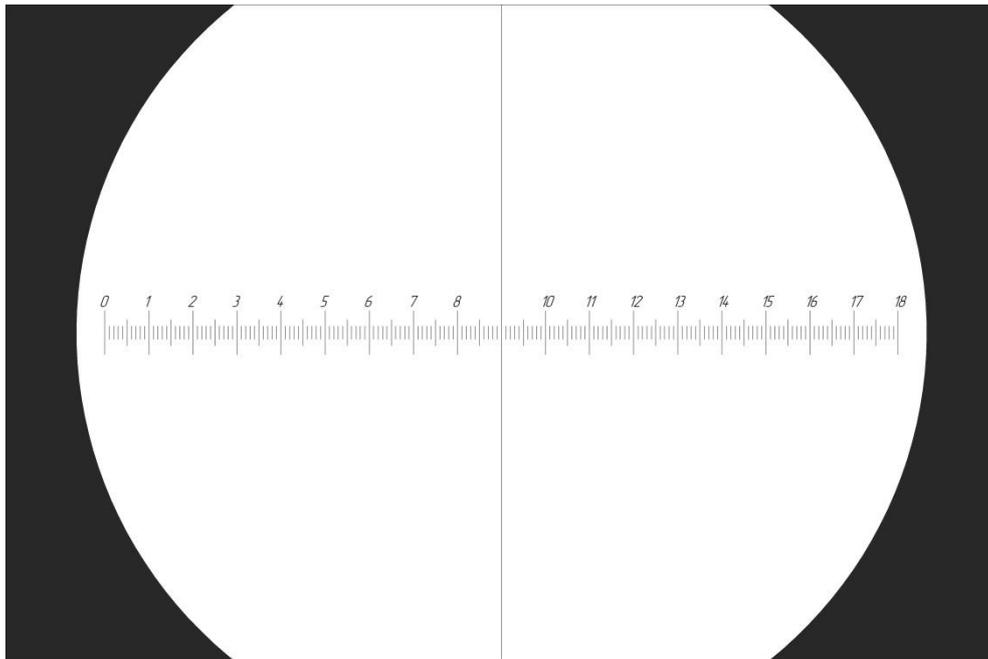


Рисунок 11 – Измерительная шкала окуляра 8^x

Для приближенной оценки линейных размеров объекта следует в одну из окулярных трубок прибора вставить окуляр 8^x с измерительной шкалой. Механизмом диоптрийной наводки окуляра добиться резкого видения шкалы. Затем поворотом рукояток механизма фокусировки добиться резкого изображения объекта. В переводной таблице 4 указано какому линейному размеру на объекте соответствует одно деление шкалы при всех увеличениях микроскопа.

Таблица 4 – Переводная таблица увеличений микроскопа

Округленные значения увеличений, нанесенные на рукоятках барабана, крат	Переводной коэффициент k (одно деление шкалы 0,1, мм соответствует величине на объекте)
0,6	0,17
1	0,1
2	0,05
4	0,025
7	0,014

Чтобы определить приближенные размеры объекта (его линейные размеры или площадь, при использовании измерительной сетки), достаточно подсчитать число делений шкалы, которое укладывается в измеряемом участке объек-

та, и умножить его на число, указанное в переводной таблице, соответствующее тому увеличению микроскопа, при котором производится измерение:

$$P_q = z \cdot k, \quad (7)$$

где z – количество делений, охватывающих пылевую частицу;

k – переводной коэффициент.

6.5 Оформление отчета

Подсчитать в поле зрения микроскопа число частиц, имеющих размеры в следующих интервалах (фракции): < 1 мкм; от 1 до 5 мкм; от 5 до 10 мкм; от 10 до 25 мкм; выше 25 мкм.

При работе с пылями, частицы которых не очень отличаются по размерам, измеряют 300 – 500 частиц; при значительной полидисперсности пыли делают измерения 1000 – 2000 частиц.

После подсчета числа частиц каждой фракции, результаты выразить в процентах от числа частиц:

$$d = \frac{n}{n_0} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где d – доля частиц определенной фракции;

n – число частиц определенной фракции, шт;

n_0 – общее число замеренных частиц, шт.

Результаты измерений занести в сводную таблицу 5.

Таблица 5 – Сводная таблица измерений

Размер частиц, мкм	< 1	1 – 5	5 – 10	10 – 25	> 25
Число частиц фракции n , шт.					
Доля частиц определенной фракции d , %					

7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА ОПТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Оптические методы занимают ведущее место среди других при осуществлении непрерывного пылевого контроля выбросов, так как являются наиболее простыми и надежными. В основу их действия положены два измерительных принципа:

1. Ослабление интенсивности света при прохождении через запыленную среду;
2. Рассеяние света на твердых частицах.

На указанных явлениях реализованы два варианта оптических методов – абсорбционный и нефелометрический.

Первый из них основан на поглощении света и получил распространение для контроля запыленности промышленных выбросов. Он может быть также применен для контроля запыленности воздуха рабочей зоны.

Главными недостатками абсорбционного метода являются его низкая чувствительность при измерении малых концентраций аэрозольных частиц, невозможность контроля достаточно высоких концентраций (порядка единиц $г/м^3$) вследствие полного поглощения излучения, а также сложность установки абсорбционных анализаторов на технологическом оборудовании.

С этой точки зрения гораздо более эффективным оказывается нефелометрический метод, основанный на регистрации рассеянного излучения с различной геометрией расположения источника излучения и фотодетектора.

Обладая гораздо более высокой чувствительностью, нефелометрический метод нашел применение для контроля запыленности воздуха рабочей зоны.

Однако наличие в технологических потоках высоких температур, вибраций, а также аэрозолей, обладающих адгезионными свойствами, оседающих на измерительных оптических элементах приборов и прилипающих к ним, существенно снижает применимость этого метода в промышленных условиях для контроля выбросов и работы газоочистных установок.

Для этих целей предпочтительнее использовать электрические методы

определения запыленности, которые основаны на определении индуцированного заряда на измерительном электроде, расположенном в металлическом газоходе. Этот заряд возникает при взаимодействии движущихся аэрозольных частиц с электродом, при этом величина заряда пропорциональна массовой концентрации аэрозоля.

Такой обмен зарядами известен как трибоэлектрический (от греческого *tribos* - трение) эффект взаимодействия. Когда частички пыли (аэрозоля) проносятся в металлической трубе, сталкиваются между собой или проходят вблизи металлического зонда, изолированного от трубы, то на нем образуется статический или динамический заряд.

Взаимодействие пылевых частиц с зондом приводит к возникновению электрических токов, которые преобразуются приборами в унифицированный постоянный токовый сигнал (4-20 мА), пропорциональный концентрации пыли в трубе или в газоходе.

Приборы, использующие в работе эффекты обмена зарядами частиц пыли с измерительным электродом или индукции заряда на измерительном электроде получили название трибоэлектрических.

7.1 Методика определения запыленности воздуха оптическим методом

В качестве оптического датчика пыли применим GP2Y1010AU0F (рисунок 12) от известного производителя марки Sharp.



Рисунок 12 – Оптический датчик пыли GP2Y1010AU0F производства Sharp

Этот датчик пыли имеет небольшие размеры и может обнаруживать частицы пыли и дыма в окружающей среде. Во время работы он потребляет очень мало энергии, что делает его идеальным для постоянно включенной системы мониторинга.

Работу датчика можно отнести к нефелометрический методу.

Фотодатчик и инфракрасный светодиод, известный как ИК-светодиод, расположены в модуле датчика пыли. Фотодатчик (PD) обнаруживает отраженные инфракрасные лучи ИК-светодиода, которые отражаются от частиц пыли в воздухе (рисунок 13).

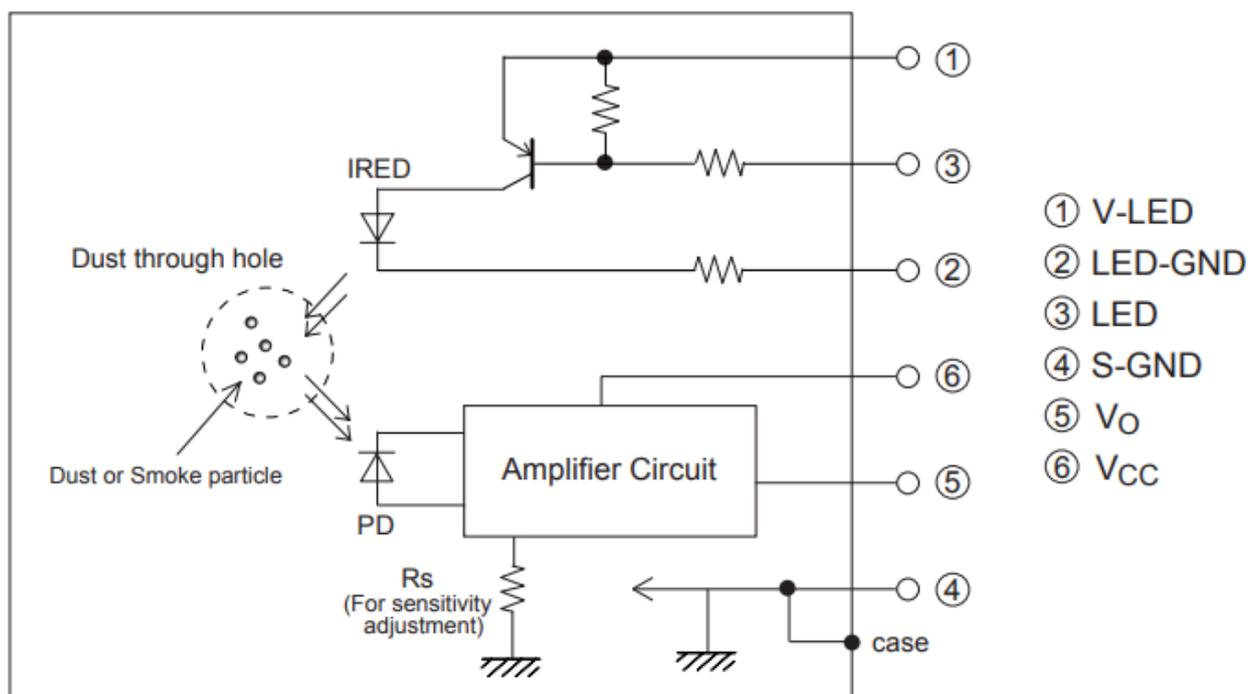


Рисунок 13 – Схема и распиновка датчика

Лабораторно-практический пылеочистной комплекс представляет собой циклонный фильтр с пылесборником, заборного и отводящего патрубков, устройства, создающее разряжение.

С целью оценки эффективности фильтрующего узла установлены оптические датчики GP2Y1010AU0F производства Sharp на заборном и отводящем патрубках (рисунок 14).

Данные датчики пыли применены из следующих соображений:

- используются новейшие технологии для зондирования, включая инфракрасный светодиод, набор линз, фотодиодный детектор и электромагнитный экран;
- имеется высокая чувствительность к пыли, а также быстрое время отклика между датчиком и микроконтроллером;
- использование простой аппаратной структуры;
- небольшой размер.

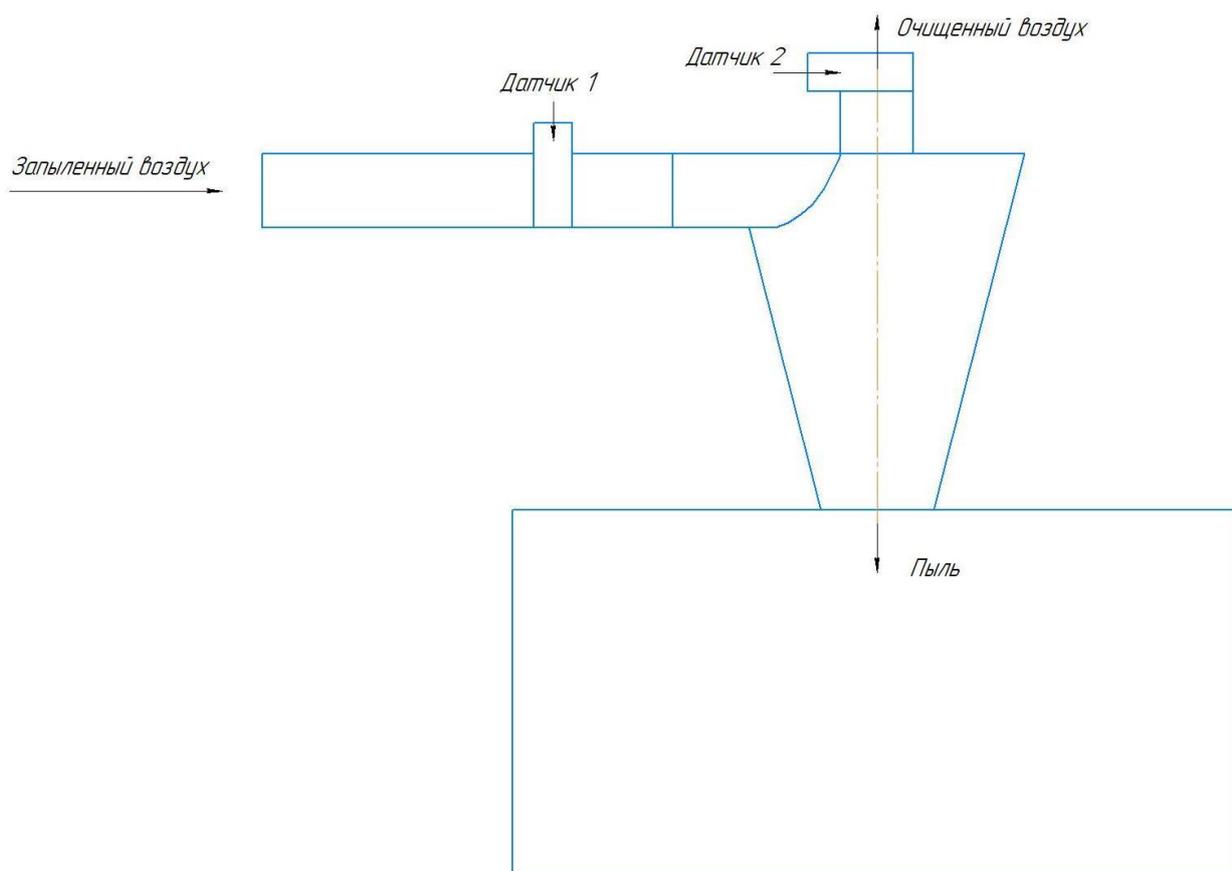


Рисунок 14 – Схема лабораторно-практической установки

Степень очистки воздуха будет определяться по формуле 1.

Для определения эффективности очистки воздуха необходимо знать концентрацию пыли до и после очистки.

При работе оптического датчика по сигнальной линии выдается напряжение, пропорциональное уровню запыленности датчика.

Концентрация пыли, фиксируемая датчиком, определяется в соответствии с данными даташита (паспорта) [15] производителя (рисунок 15).

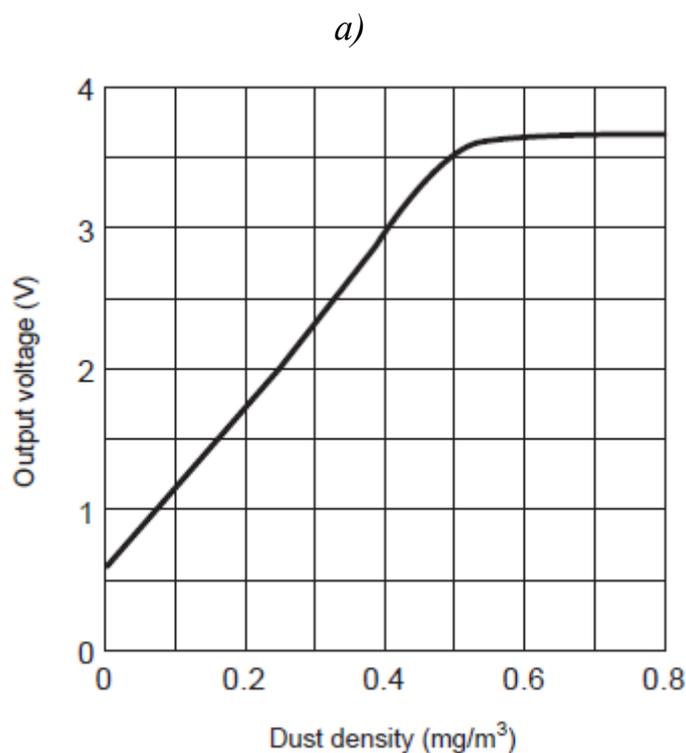
($T_a=25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC}=5\text{V}$)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Sensitivity	K	*1 *2 *3	0.35	0.5	0.65	V/(0.1mg/m ³)
Output voltage at no dust	V_{OC}	*2 *3	0	0.9	1.5	V
Output voltage range	V_{OH}	*2 *3 $R_L=4.7\text{k}\Omega$	3.4	–	–	V
LED terminal current	I_{LED}	*2 LED terminal voltage = 0	–	10	20	mA
Consumption current	I_{CC}	*2 $R_L=\infty$	–	11	20	mA

*1 Sensitivity is specified by the amount of output voltage change when dust density changes by 0.1 mg/m³.
And the dust density for detection is a value of the density of cigarette (MILD SEVEN®) smoke measured by the digital dust monitor (P-5L2: manufactured by SHIBATA SCIENTIFIC TECHNOLOGY LTD.).

*2 Input condition is shown in Fig. 1

*3 Output sampling timing is shown in Fig. 2



в)

a) электрооптические характеристики датчика;

в) зависимость выходного напряжения от концентрации пыли

Рисунок 15 – Паспортные данные на датчик пыли

Таким образом, определяя напряжение на выходе датчика и в соответствии с переводным коэффициентом $\frac{0,5 \text{ В}}{0,1 \text{ мг/м}^3}$. Выходное напряжение, исходя из графика и таблицы, определяется уровнем в 3,4В при линейной зависимости.

8 ЗАПЫЛЕННОСТЬ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Особенностью условий труда в сельском хозяйстве является наличие повышенных концентраций пыли, содержащей комплекс химических соединений, что является одним из наиболее неблагоприятных факторов производственной среды [16, 17]. Выполнение тяжелой физической работы в условиях высоких концентраций пыли требует значительного напряжения дыхательной системы.

В составе пыли частицы минералов с кристаллической структурой, зазубренными краями (кварц и др.) обладают фиброгенными свойствами и травмируют слизистую оболочку верхних дыхательных путей и легочную ткань работников. В настоящее время ПДК пыли регламентируется в зависимости от содержания в ней свободного диоксида кремния и не учитывает, что вредное действие запыленности на здоровье работающих обусловлено влиянием различных видов пыли и комплекса токсичных соединений в составе взвешенных частиц пыли.

Большинство производственных операций в АПК сопровождаются выделением в воздух рабочей зоны пыли сложного состава, таблица 6.

Таблица 6 - Среднесменные концентрации пыли на рабочих местах

Технологические операции, профессии	Среднесменная концентрация пыли, мг/м ³
Вспашка плугом на 20-22 см, механизатор	3- 5,2
Плоскорезная обработка на 20 см, механизатор	1-1,7
Растаривание, измельчение, погрузка удобрений, рабочий	2 - 8
Погрузка удобрений из мягких контейнеров в разбрасыватель удобрений, рабочий	1,5 - 5,0
Внесение минеральных удобрений, механизатор	2 - 9
Зерносушильный комплекс, рабочий	2-3
Склад, размол зерна, рабочий	20-80
Галерея (транспортёр), рабочий	10-170
Аппаратчик комбикормового производства (дробильщик)	30-40
Транспортерщик комбикормового производства	21-55
Размольное отделение	1,5-3,3
Зерноочистительное отделение	0,5-5,0
Выбойное отделение	12-30
ПДК	4

При работе на почвообрабатывающих агрегатах в воздух рабочей зоны поступает в основном почвенная пыль. Размеры частиц пыли определяют спо-

способность проникать через фильтрующие элементы воздухоочистителя трактора. В результате с воздухом попадает пыль, изнашивая гильзы цилиндров и поршневые кольца. Чередование глубоких и мелких обработок плоскорежущими орудиями снижали пылеобразование. Наибольшее содержание пыли в зоне воздухоочистителя трактора - $0,03 \text{ г/м}^3$ фиксируется при вспашке, наименьшее - $0,01 \text{ г/м}^3$ при плоскорезной обработке. Количество частиц размером до 5 мкм, находящихся в состоянии витания в пылевом облаке при вспашке достигает 60%. С увеличением скорости движения пахотного агрегата содержание в пыли частиц размером до 5 мкм возрастает при вспашке с 60 до 71%. Запыленность воздуха, состав пыли существенно зависит от типа, минералогического и гранулометрического состава почвы, ее влажности, направления и скорости ветра, предшественников и других факторов. Безотвальная (плоскорезная) обработка почвы снижает загрязненность пылью в 1,7 раза в воздухе рабочей зоны механизатора. Защитная функция лесной полосы от пыли, образовавшейся во время проезда грузового автомобиля по грунтовой дороге представлена в таблице 7.

Таблица 7 - Пылезащитная эффективность ЗЛН

Масса пыли, мг/100 см ²		
На заветренной опушке	В центре	На наветренной опушке
Пылезащитная полоса лиственницы Сукачева, 1952 г.		
2	12	150

Наибольшее содержание пыли 150 мг/100 см^2 при определении на наветренной опушке лесополосы, рядом с грунтовой дорогой. Наименьшее - 2 мг/100 см^2 на опушке с заветренной стороны. Непродуваемая лесная полоса с подлеском обеспечивает важную пылесборную функцию, снижая в 75 раз распространение почвенной пыли, образующейся при проезде автомобиля.

Технологические процессы измельчения, просеивания, а также внесения минеральных удобрений сопровождаются наличием повышенных концентраций пыли в воздухе рабочей зоны, состав которой зависел от выполняемой ра-

боты, вида удобрений и их физико-механических свойств [18]. Высокая запыленность ($2 - 8 \text{ мг/м}^3$) воздуха рабочей зоны на рабочем месте рабочего склада характерна для операции измельчения слежавшихся минеральных удобрений. Пыль минеральных удобрений распространяется по складским помещениям, осаждается на технологическом оборудовании, стенах, потолках, полу и окнах, которые являются источниками вторичного заноса пыли в смежные помещения со спецодеждой и обувью рабочих. При погрузочно-разгрузочных работах происходит разрыв 500 и 800 кг «биг-бегов», загрязнение пылью оборудования, спецодежды, обуви, кожных покровов рабочих. В процессе загрузки удобрений в разбрасыватель отмечается образование пыли минеральных удобрений, в концентрации $1,5 - 5,0 \text{ мг/м}^3$. Низкие концентрации пыли $1 - 3 \text{ мг/м}^3$ в воздухе рабочей зоны рабочих регистрируются при загрузке в разбрасыватель растеренных удобрений самосвальным автотранспортом с помощью шнека и при ручной загрузке нитроаммофоски в бункеры сеялок точного высева. Наиболее высокая запыленность воздуха рабочей зоны механизаторов отмечается при внесении фосфоритной муки ($2 - 9 \text{ мг/м}^3$). Мелкодисперсная пыль образует стойкое пылевое облако с медленно оседающими частицами. Качественный анализ состава пыли показывает содержание пыли минеральных удобрений и пыли верхнего слоя почвы. В пыли определяются тяжелые металлы, содержание которых обуславливается их фоновым содержанием в верхнем слое почвы и в применяемых удобрениях.

В процессе первичной очистки зерна на зерноочистительных машинах отмечается загрязнение воздушной среды пылью смешанного состава. В витающей пыли присутствуют остатки остей колосьев, хохолков, крылышек и летучек от семян сорняков; насекомых; спор и гифов грибов, бактерий, пыльцы растений. В воздухе рабочей зоны среднесменная концентрация пыли варьируется от $0,5$ до 795 мг/м^3 , причем интенсивное пылевыделение наблюдается при транспортировке муки. Наиболее высокая запыленность воздуха рабочей зоны, превышающая ПДК отмечается при размоле зерна (80 мг/м^3), на рабочем месте транспортерщика комбикормового завода (170 мг/м^3), размольном отделении (5

мг/м³) и выбойном отделении (12-30/м³) комбината хлебопродуктов. Морфологический, минералогический и химический состав пыли, образующейся в процессе первичной очистки зерна, его размолу, различен [19]. При первичной очистке вороха зерна в пыли встречаются мелкие частицы (менее 2 мкм), и крупные (до 250 мкм) многогранной формы. Мелкодисперсная пыль образует стойкое пылевое облако с медленно оседающими частицами. Попадая в глаза, пыль оказывает раздражающее действие, вызывает ранения слизистой и роговой оболочек глаз сухими остинками, остями злаков, шелухой мелких семян сорняков. Пыль от злаков вызывает зуд кожи. В составе мучной пыли; пыли отрубей и комбикормов 80% частиц имели размеры 2-5 мкм, 3-10% свободного диоксида кремния, 9-31% протеина. В мельничной пыли сероватого цвета содержатся частицы минерального состава, желтоватой - оболочки зерна, белой - крахмальные зерна. Пыль распространяется по помещениям, осаждаются на технологическом оборудовании, стенах, потолках, полу и окнах, которые являлись источниками вторичного пылевыведения.

В условиях, когда содержание пыли в воздухе рабочей зоны превышает ПДК, необходимо применять средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД). В условиях комфортного микроклимата рекомендуется использование бесклапанных респираторов («Лепесток», «Юлия» и др.). В условиях дискомфорта микроклимата клапанные респираторы многократного пользования со сменными фильтрующими элементами (Ф-62Ш, ПРШ-741, РПА-1 и др.). На рабочих местах с повышенной запыленностью необходима защита глаз с помощью специальных пылезащитных очков с непрямой вентиляцией (ЗН-28) или фильтрующего типа (ЗФ). Устранить большинство эксплуатационных недостатков, присущих существующим респираторам, позволяет защитный комплект НИВА-2М НИВА-2-12 и НИВА-2-с коробками фильтрующе-поглощающие типов ГИК и ГИКф, позволяющие очистить воздух практически от всех вредных веществ. Марки коробок – А, В, КД МКФ, АВТО-1, АВТО-2 и др. В качестве лицевых частей возможно использование полумасок: резиновой

и мягкой облегченной, маски панорамной, щитка сварщика, каски защитной с прозрачным щитком, капюшона с прозрачным щитком.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое пыль?
2. Классификация пыли.
3. Вредное воздействие пыли на человека.
4. Что такое предельно-допустимая концентрация (ПДК) вредного вещества?
5. Методы исследования запыленного воздуха.
6. Средства защиты от пыли.
7. Назовите виды обеспыливающего оборудования.
8. Сущность весового метода определения концентрации пыли.
9. Каким образом измеряется счетная концентрация пыли?
10. Каковы основные физико-химические характеристики пыли?
11. С какой целью необходимо знать физико-химические характеристики пыли?
12. Что такое дисперсность пыли и какими методами она определяется?
13. В чем суть ситового анализа и порядок его проведения?
14. В чем суть седиментометрического метода?
15. Суть центробежного метода воздушной сепарации?
16. Суть микроскопического метода, почему он называется счетным?
17. Как пыль классифицируют по происхождению?
18. Приведите особенности запыленности в с/х производстве?
19. Каковы средства защиты от пыли в АПК?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1).
2. Определение дисперсности пыли [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: <https://cyberpedia.su/12xc97f.html> (дата обращения: 30.01.19 г.).
3. Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. М.: Химия, 1978. 208 с.
4. Санитарно-гигиенические исследования воздуха / под общ. ред. И.М. Голосова. Л.: Ленингр. ветерин. ин-та, 1980. 63 с.
5. Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. М.: Химия, 1978. 208 с.
6. Перечень приборов, аппаратуры и устройств, рекомендуемых для контроля за факторами производственной среды и трудового процесса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://transform.ru/Npa_hm/Attest/HIGIENE/gtpr8.htm (дата обращения: 09.09.21).
7. Приборы для контроля воздуха рабочей зоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://dustmonitors.ru/pribery2> (дата обращения: 09.09.21).
8. Пылемеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://medwest.ru/catalog/14> (дата обращения: 09.09.21).
9. Экологические приборы и оборудование. "Экоинтех": Пылемеры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.eco-intech.com/catalog/5/> (дата обращения: 09.09.21).
10. Аналитические фильтры модели АФА-ВП-10 упаковка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://eco-intech.com/product/analiticheskie-filtry-modeli-afa-vp-afa-kh-afa-rm-afa-rcp/> (дата обращения: 09.09.21).
11. Мамаева Н.Ю. Оценка запыленности воздуха // Комплексное обследование книгохранилищ: метод. пособие. СПб.: РНБ, 2007. С. 76-91.

12. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. 3-е изд. перераб. Л.: Химия, 1987. 264 с.
13. Градус Л.Я. Руководство по дисперсному анализу методом микроскопии. М.: Химия, 1979. 232 с.
14. Микроскоп стереоскопический МБС-10 (вариант 2). Паспорт и руководство по эксплуатации. 2012. 8 с.
15. GP2Y1010AU0F. Compact Optical Dust Sensor. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.farnell.com/datasheets/1895885.pdf> (дата обращения: 18.11.21).
16. Еськин П.И., Валагов В.Г. О профессиональной патологии работников сельского хозяйства и основные направления ее профилактики. Охрана труда в сельском хозяйстве. Орел, 1981. С. 111-115.
17. Рябцев Б.И. Запыленность рабочей зоны при проведении сельскохозяйственных работ // Гигиена и санитария. 1971. № 6. С. 100-101.
18. Небытов В.Г. Гигиенические проблемы условий труда при применении средств химизации // Безопасность жизнедеятельности. 2003. № 4. С. 39-41.
19. Шаптала В.В. Вопросы обеспыливания производственной и внешней воздушной среды при производстве комбикормов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2004. № 8. С. 216-218.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 – Некоторые предельно допустимые концентрации пыли в рабочей зоне производственных помещений

Вещество	ПДК, мг/м³
Пыль, содержащая 70 % свободного диоксида кремния	1,0
Асбестовая пыль и пыль смешанная, содержащая более 10 % асбеста	2,0
Пыль угольная, содержащая 70 % свободного диоксида кремния	4,0
Пыль барита, апатита, фосфорита, содержащая менее 10 % свободного диоксида кремния	6,0
Пыль глин, минералов и их смесей, не содержащая свободного диоксида кремния	6,0
Пыль угольная, содержащая 10% свободного диоксида кремния	4,0
Пыль угольная, не содержащая свободного диоксида кремния	10,0
Пыль слюды-сырца (с примесью диоксида кремния до 28 %)	2,0
Пыль цемента, глин минералов и их смесей, не содержащих свободного диоксида кремния	6,0
Аэрозоли металлов, металлоидов и их соединений:	
Алюминия	2,0
Оксида железа	4,0
Марганца, мышьяка	0,3
Никеля	0,5
Свинца	0,01
Оксида цинка	6,0

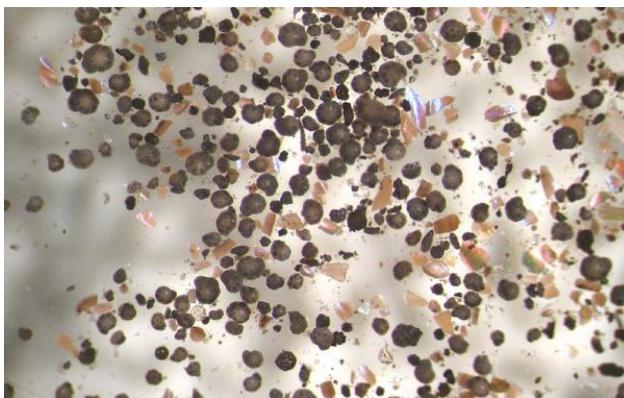
Приложение 2– Классификация производственной пыли



Приложение 3 – Изображение пыли различного происхождения под микроскопом



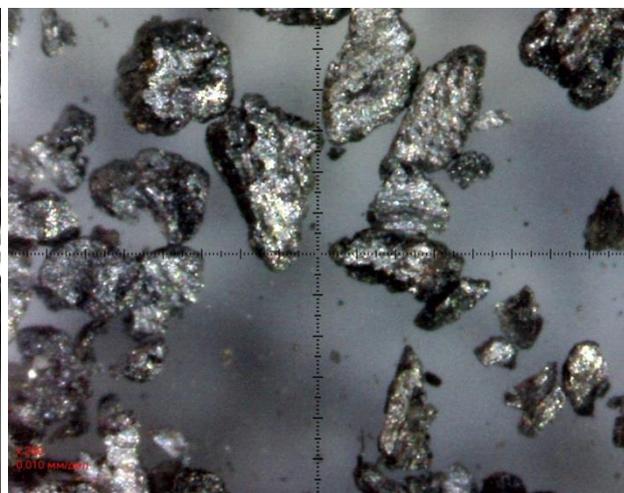
Частицы кварцевого песка



Частицы глины



Магниева стружка

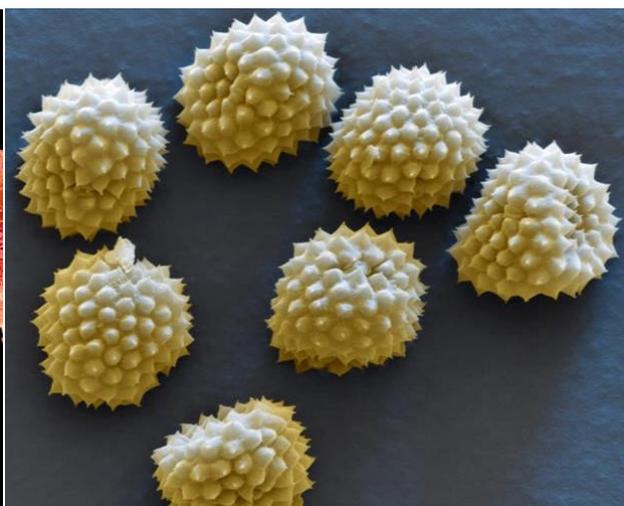


Алюминиевая стружка

Пыльца растений



Пыльца Маргаритки

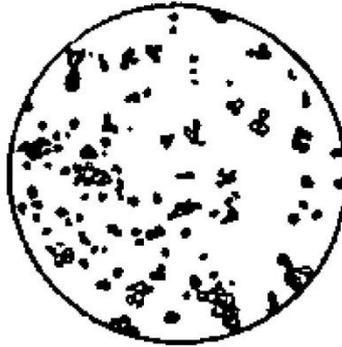


Пыльца Амброзии обыкновенной

Приложение 4 – Форма частиц пыли различного происхождения



Древесная



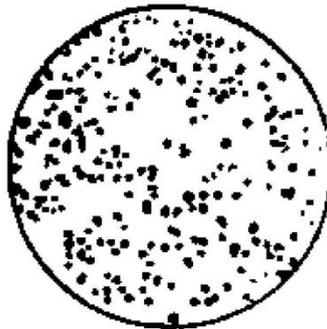
Угольная



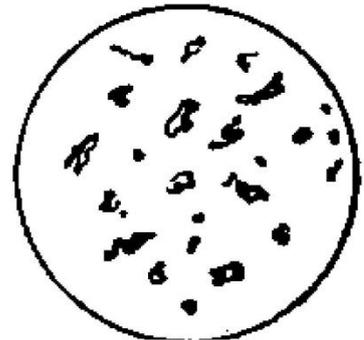
Щетинная



Шамотная



Кремневая



Напилочная



Пеньковая



Льняная



Зерновая

Приложение 5 – Ведомость

Запыленность воздуха

Объект _____

Дата обследования _____

Дата снятия результатов _____

Объект	№ фильтра	Время отбора пробы, с	Расход воздуха, л/мин	Объем воздуха, л	Масса фильтра начальная, мг	Масса фильтра конечная, мг	Масса пыли, мг	Запыленность воздуха С, мг/м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Учебное издание

Адылин Иван Петрович

Инженерные методы и технические средства контроля и
обеспечения экологической безопасности в
сельскохозяйственном производстве

Учебное пособие
к выполнению лабораторных и практических работ
для студентов очной и заочной формы обучения направления
20.03.01 Техносферная безопасность, изучающих дисциплины
«Промышленная экология», «Приборы контроля окружающей среды»

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 07.04.2022 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 3,31. Тираж 25 экз. Изд. № 7247.

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