

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 14.11.2022 15:29:14

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Юго-Западный государственный университет
(ЮЗГУ)**

Кафедра охраны труда и окружающей среды

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

«16» 08 (ЮЗГУ) 2021 г.



**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ»**

Методические указания к проведению лабораторных работ
для студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность

Курск 2021

УДК 614.71

Составитель: В.В. Юшин, Е.А. Преликова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент А.В. Беседин

Лабораторные работы по дисциплине «Системы защиты воздушной среды»: методические указания к проведению лабораторных работ для студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.В. Юшин, Е.А. Преликова. - Курск, 2021. - 44 с.

Приводятся методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Системы защиты воздушной среды».

Работа предназначена для студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 2,53. Уч.-изд.л. 2,32. Тираж 30 экз. Заказ 984. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЁННОСТИ ВОЗДУХА

Цель работы:

- ознакомиться с весовым методом определения запыленности воздуха;
- изучить и практически освоить лабораторную установку;
- определить содержание пыли в воздухе весовым методом;
- дать санитарную оценку запыленности.

Общие положения.

Многие технологические процессы в промышленности сопровождаются выделением пыли. Это процессы механической обработки хрупких материалов, дробления, просеивания, транспортировка сыпучих материалов, переработка волокнистых материалов, сварка и др.

Пыль - это мельчайшие частицы вещества, способные длительное время находиться в воздухе или в производственных газах во взвешенном состоянии. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) пыли в воздухе рабочей зоны установлены СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Предельно-допустимые концентрации пыли в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Особенности действия на организм
Пыль доменного шлака	6	4	Ф
Пыль растительного и животного происхождения:			
а) с примесью диоксида кремния от 2 до 10%	4	4	А, Ф.
б) зерновая	4	3	А, Ф.
в) лубяная, хлопковая, льняная, шерстяная и др. (с примесью диоксида кремния более 10%)	2	4	А, Ф.
г) мучная, древесная и др. (с примесью диоксида кремния менее 2%)	6	4	А, Ф.

Для определения пыли в воздухе и её состава используют различные *методы*, которые можно разделить на *две группы*:

- *прямые*, основанные на предварительном осаждении пылевых частиц (весовой, седиментационный, радиоизотопный, пьезоэлектрический);

- *косвенные*, без предварительного осаждения (оптические, механические, электрические).

Методы обеспечивают определение массовой концентрации пыли на основе измерения либо перепада давления на фильтрующем материале при прокачивании через него запыленного воздуха, либо частоты (амплитуды) вибрации, возникающей в результате трения частиц пыли о стенки корпуса первичного преобразователя, либо интенсивности проникающей радиации через фильтр с пылью.

Одним из простых и широко распространенных методов является *весовой*. Сущность метода заключается во взвешивании специального фильтра до и после просасывания через него некоторого объема запыленного воздуха, с последующим определением массы осевшей пыли. Недостатком весового метода является то, что он не дает представления о качественной характеристике пыли, без которой невозможна полная гигиеническая оценка запыленности. Одно и то же весовое количество пыли может быть при наличии в воздухе небольшого числа крупных частиц и множества мелких, а с точки зрения поведения пыли в воздухе и воздействия ее на организм человека эти случаи совершенно разные.

При определении концентрации пыли весовым методом чаще всего используются фильтры АФА, изготовленные из гидрофобного высокоэффективного нетканого фильтрующего материала ФПП (фильтр перхлорвиниловый Петрянова), которые имеют следующие достоинства:

- 1) хорошие фильтрующие свойства;
- 2) высокий коэффициент улавливания за счет электростатических свойств;
- 3) небольшой собственный вес;
- 4) малое аэродинамическое сопротивление фильтров.

Перечень материалов, приборов и оборудования, необходимых для исследования запыленности воздуха весовым методом с помощью фильтров, приводится в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Перечень материалов, приборов и оборудования, необходимых для исследования запыленности воздуха весовым методом

Наименование	Тип прибора	Назначение
1. Весы аналитические	АДВ- 200 (точность измерения $\pm 0,1$ мг)	Взвешивание фильтров
2. Аллонж (фильтродержатель)	ИРА- 10, ИРА- 20	Отбор пробы аэрозоля на фильтр

Наименование	Тип прибора	Назначение
3. Электрический аспиратор	ПУ-4Э	Протягивание воздуха с определенной скоростью воздуха
4. Часы или секундомер	С секундомерной стрелкой	Определение продолжительности отбора пробы
5. Комплект фильтров	АФА- ВП-10 АФА- ВП- 20	Улавливание аэродисперсных примесей
6. Резиновый шланг	Диаметр до 10мм	Соединение аппаратуры при отборе проб
7. Барометр	БАММ	Измерение давления воздуха
8. Термометр	Со шкалой до 100°С	Измерение температуры воздуха

Буква "В" в обозначении фильтров означает, что фильтр пригоден для весового метода, цифры 10 и 20 обозначают площадь круга фильтра (см²).

При измерении концентрации пыли в атмосферном воздухе и воздухе производственных помещений с гигиенической точки зрения оптимальной является скорость отбора, равная скорости человеческого дыхания, т. е. скорость легочной вентиляции (10- 15 л/мин). Время отбора определяется исходя из необходимого объема воздуха, который, в свою очередь, принимают в зависимости от предполагаемой концентрации пыли (табл. 1.3).

Таблица 1.3 – Зависимость концентрации пыли от объёма воздуха

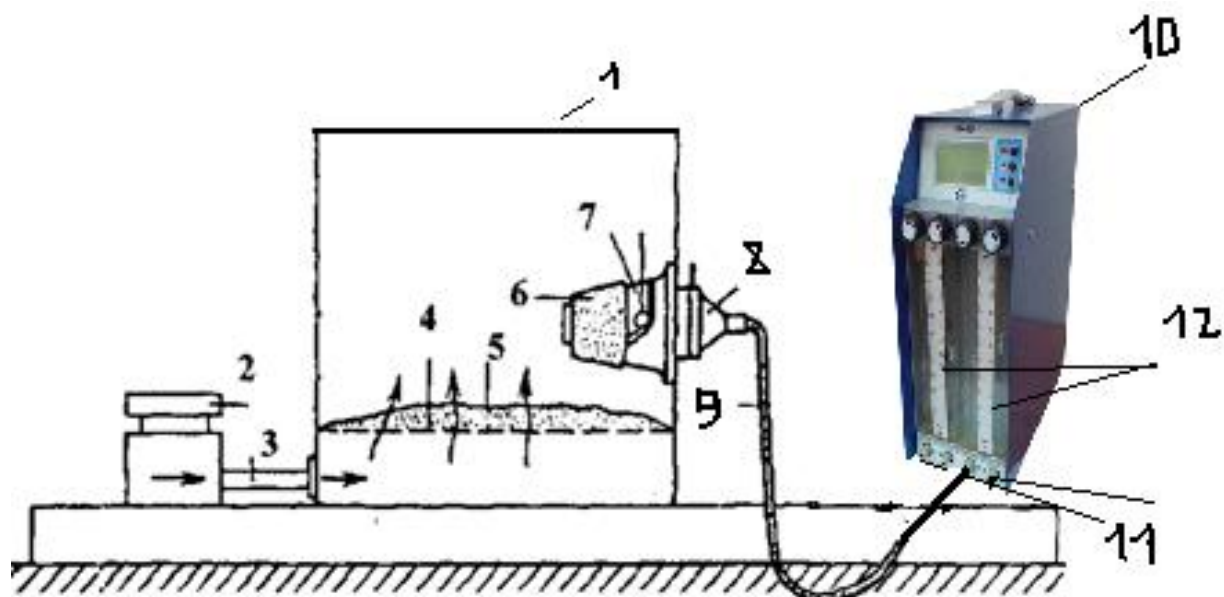
Предполагаемая концентрация пыли, мг/м ³	2	2-10	10-50	>50
Объем отбираемого воздуха, л	1000	500	250	100

Определение концентрации пыли весовым методом состоит из 4-х этапов:

- 1) подготовка аппаратуры и фильтров;
- 2) отбор пробы воздуха;
- 3) определение изменения массы фильтров;
- 4) расчет концентрации пыли.

Описание лабораторной установки.

Лабораторная установка, предназначенная для определения запыленности, представлена на рис.1. Установка состоит из камеры 1, имитирующей производственное помещение и аспиратора 10. В камере на решётке 4 находится порция пыли 5, которая с помощью вентилятора 2 и воздуховода 3 поднимается в воздух. К боковой части камеры прикреплен аллонж 8 для установки фильтров. Аллонж соединяется с аспиратором 10 с помощью резиновой трубки 9. К аллонжу с внутренней стороны камеры крепят респираторы 6 для оценки эффективности защиты органов дыхания.



1 - корпус пылевой камеры; 2 - вентилятор; 3 - воздуховод; 4 - решетка; 5 - порция пыли; 6 - респиратор; 7 - конусная оправа; 8 - аллонж для установки аэрозольных фильтров; 9 - резиновая трубка; 10 - аспиратор ПУ-4Э; 11 - краны; 12 - ротаметры.

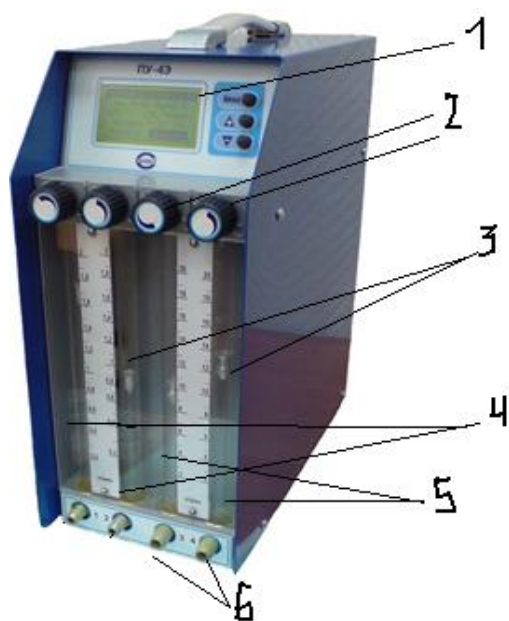
Рисунок 1.1 - Схема лабораторной установки для исследования запыленности воздуха

Воздушная камера представляет собой прямоугольную емкость размером 250 x 300 x 450 мм или 0,34 м³. Для автоматического отбора проб воздуха, паров и аэрозолей (в рабочей зоне, атмосфере и промышленных выбросах) для проведения санитарного и экологического контроля используется аспиратор типа ПУ-4Э.

Он состоит из воздушного насоса с электродвигателем и четырёх ротаметров (рис.1.2), представляющих собой стеклянные трубки с поплавками. Проходя через ротаметр, воздух поднимает поплавков тем выше, чем больше скорость и расход воздуха. Резиновую трубку от аллонжа с фильтром, который находится в держателе, присоединяют к штуцерам. На панели аспиратора находятся краны для регулировки скорости отбора проб. Отчёт показаний ведут по верхнему краю поплавка.

Аспиратор ПУ-4Э обеспечивает отбор проб с заданным объемным расходом через поглотитель по 4-м параллельным каналам. (1,2 канал от 0,2 до 2 л/мин, 3,4 каналы от 2 до 20 л/мин). Отобранные пробы анализируются в лабораторных условиях с применением стандартных методик.

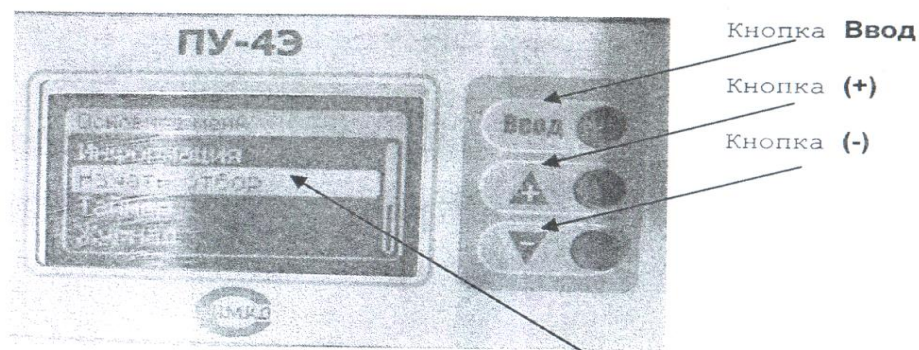
Вся информация о режимах работы и отборе пробы размещена на ЖК-индикаторе (рис.1.3).



1 - табло; 2 - запорные вентили ротаметров; 3 - поплавок ротаметра; 4 - ротаметры для отбора проб воздуха на загазованность; 5 - ротаметры для отбора проб воздуха на запыленность; 6 - выходные штуцеры ротаметров.

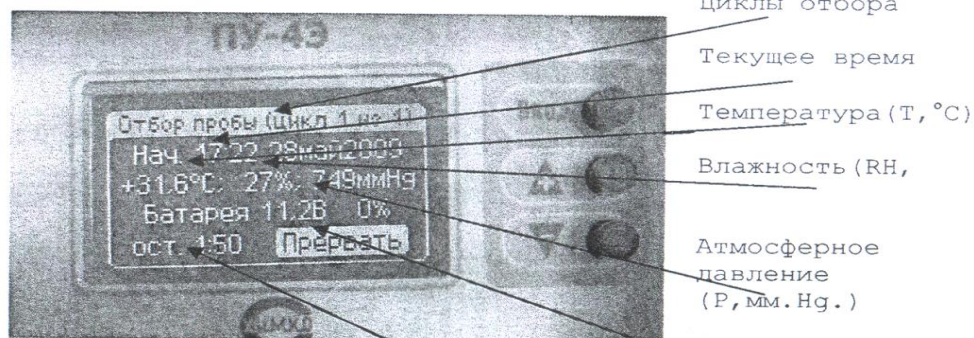
Рисунок 1.2 – Аспиратор ПУ-4Э

Основное меню



Активный пункт меню **Начать отбор**

Меню **Отбор пробы**



Остаток времени отбора мин.

Рисунок 1.3 – Вид ЖК-индикатора ПУ-4Э

Технические характеристики aspirатора ПУ-4Э:

- диапазоны расхода: от 0,2 до 2,0 л/мин (по 1 и 2 каналам); от 2,0 до 20,0 л/мин (по 3 и 4 каналам);
- погрешность задания расхода: +/- 5 %;
- сопротивление поглотителя от 0 до 5 кПа;
- время отбора пробы от 1 до 99 мин (имеется таймер средне-суточного отбора, индикаторные показания температуры воздуха, атм. давления, влажности);
- питание от сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц или от внешнего аккумулятора напряжением 12 В.

Условия эксплуатации:

- ✓ температура окружающей среды от 263 до 313 К (от минус 10 до 40°С);
- ✓ относительная влажность до 98 % при температуре 25 °С;
- ✓ атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.).

Достоинства aspirатора

- металлический корпус, защищенные ротаметры, большой ЖК-индикатор таймера;
- метрологическое обеспечение - устройство включено в Государственный реестр РФ;
- удобство в эксплуатации;
- взаимная независимость расходов по каналам;
- разборные ротаметры, упрощающие обслуживание.

Задание.

Создать в камере определенную запыленность и весовым методом определить содержание пыли в помещении заданного объема. Сравнить полученные результаты с ПДК в воздухе рабочей зоны (табл. 1.1).

Порядок выполнения работы.

1. Собрать лабораторную установку: снять респиратор с конусной оправы, штуцер aspirатора подсоединяют с помощью резиновой трубки с аллонжем экспериментальной камеры. Включить в розетку aspirатор и вентилятор.

2. Взвесить на аналитических весах чистый фильтр. Для этого его помещают в держатель. Фильтр брать и перемещать только пинцетом, не касаясь его руками. Вставить фильтр с держателем в аллонж.

3. Включить вентилятор пылевой камеры и добиться равномерного распределения пыли по камере.

4. Включить aspirator и одновременно секундомер. Вентилем отрегулировать скорость просасывания воздуха (10- 15 л/мин. по указанию преподавателя).

5. Проводить забор пробы воздуха в течение 10-15 минут (по указанию преподавателя). Снять аллонж, вынуть из него фильтр с держателем, не встряхивая и не переворачивая, вторично взвесить на весах.

6. Рассчитать концентрацию пыли в камере в реальных условиях, ($\text{мг}/\text{м}^3$):

$$C_o = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 1000}{v \cdot T} \quad (1.1)$$

где m_1 - масса чистого фильтра, мг; m_2 – масса фильтра после отбора пробы воздуха, мг; V - скорость просасывания воздуха, л/мин; T - время просасывания воздуха через фильтр, мин.

7. Результат измерения привести к нормальным условиям:

$$C = C_o \cdot \frac{273 + t}{293} \cdot \frac{101,3}{p} \quad (1.2)$$

где t - температура воздуха в камере, C ; p - атмосферное давление в камере, кПа, (при нормальных условиях 101,3 кПа).

8. Результаты эксперимента занести в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Результаты выполненного эксперимента и его обработки

$m_1, \text{мг}$	$m_2, \text{мг}$	$m_2 - m_1, \text{мг}$	$V, \text{л/мин}$	$T, \text{мин}$	$t, \text{°C}$	$P, \text{кПа}$	$C_o, \text{мг}/\text{м}^3$	$C, \text{мг}/\text{м}^3$

9. Сравнить полученное значение концентрации на данный вид пыли с ПДК, сделать вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 1.1 Определение пыли.
- 1.2 Методы определения запылённости воздушной среды.
- 1.3 Состав лабораторной установки.
- 1.4 Сущность весового метода.
- 1.5 Достоинства фильтра АФА.
- 1.6 Приборы, необходимые для определения концентрации пыли в воздухе.
- 1.7 Принцип работы aspirатора.
- 1.8 Приведение газа к нормальным условиям.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Цель работы:

- ознакомиться с методами определения вредных веществ в воздушной среде;
- изучить устройство и принцип работы воздухозаборное устройство газоанализатора УГ – 2 и насос-пробоотборник НП-3М;
- научиться определять концентрации вредных веществ в воздушной среде с помощью индикаторных трубок;
- научиться определять концентрацию вредных веществ в воздушной среде с помощью газоанализатора ЭЛАН.

Основные положения.

Вредное вещество – вещество, которое при контакте с организмом человека может вызвать профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами, как в процессе воздействия вещества, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Нормирование содержания вредных веществ в объектах окружающей среды осуществляется с помощью ПДК.

ПДК в воздухе рабочей зоны (ПДК_{р.з.}) - концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение всего рабочего стажа не должны вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Периодичность контроля качества воздушной среды зависит от класса опасности вредного вещества и составляет: 1 раз в 10 дней для веществ I класса (вещества чрезвычайно опасные); 1 раз в месяц для веществ II класса (вещества высоко опасные); 1 раз в квартал для веществ III (вещества умеренно опасные) и IV классов (вещества мало опасные).

В настоящее время разработано множество методов определения вредных веществ. Для обнаружения, идентификации и количественного определения вредных веществ применяются **химические** (весовой и титриметрический способы) и **физико-химические** методы (хроматографические, электрохимические и др.). Наиболее широко используются физико-химические методы анализа.

Хроматографические методы анализа заключаются в том,

что проба воздуха в виде газообразных или испаряющихся компонентов вводится в поток газа – носителя и вместе с ним пропускается через колонки с адсорбентом (*адсорбционная газохроматография*) или с нанесенными на твердые поверхности нелетучими жидкостями (*газожидкостная хроматография*), причем отдельные компоненты смеси выходят из колонки отдельными фракциями и могут быть определены в виде отдельных веществ в смеси с газом – носителем. Способ отличается высокой избирательностью, высокой чувствительностью. Благодаря тому, что для анализа требуется небольшой объем газа, газовая хроматография имеет преимущество при исследовании малых объемов газов. К недостаткам способа следует отнести использование значительного числа приборов, необходимость использования специальных установок.

Сущность *электрохимических методов* заключается в измерении электропроводности анализируемых растворов: *кондуктометрический* способ основан на определении количества электричества, необходимого для осуществления электрохимического процесса выделения на электроде или образования в электролите соединения, по которому проводят анализ пробы. В основу *вольтамперометрии* положена зависимость между характером поляризации рабочего электрода и составом раствора, в котором он находится. Недостатками методов являются: сложность применяемого оборудования; необходимость использования источника электрической энергии.

Наиболее распространенными методами исследования качественного и количественного состава загрязнений воздуха являются *спектральные методы анализа*, среди которых широкое распространение получили абсорбционные оптические методы. Среди них выделяют: *атомно-абсорбционный анализ*, основанный на поглощении световой энергии атомами анализируемых веществ; анализ по поглощению и рассеянию световой энергии взвешенными частицами анализируемого вещества (*турбидиметрия, нефелометрия*); *люминесцентный анализ*, основанный на измерении излучения, возникающего в результате выделения избытка энергии возбужденными молекулами анализируемого вещества; *молекулярный абсорбционный анализ* осуществляется по поглощению света молекулами анализируемого вещества и сложными ионами в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасных областях спектрах (*спектрофотометрия, фотокolorиметрия*), *фотокolorиметрический* (основан

на измерении ослабления светового потока, прошедшего через окрашенный раствор в области длин волн 400 – 760 нм) и *спектрофотометрический* (в его основе лежит избирательное поглощение монохроматического потока световой энергии при прохождении его через исследуемый раствор) методы анализа.

Концентрацию вредных веществ в воздухе во многих случаях необходимо установить быстро, что позволяет осуществить использование *экспрессных методов*, в основе которых лежит цветная реакция, протекающая в различных средах – в растворах, на реактивной бумаге или на твердых сорбентах.

Преимуществами экспрессных методов являются: возможность определения малых концентраций вредных веществ в воздухе; простота использования; быстрое получение результатов непосредственно в месте отбора пробы; методы могут служить оперативным средством контроля атмосферы в процессе изучения характера и зоны распространения загрязнения.

Широко применяется в экспрессном анализе колориметрический метод определения с помощью индикаторных трубок: газ пропускается через слой индикаторного порошка который меняет свою окраску. При этом мерой концентрации может быть интенсивность окраски (*колориметрический способ*) или длина окрашенного слоя (*линейно-колористический способ*).

Особенность линейно-колористического метода состоит в том, что реакция между определяемым веществом и цветореагентом, нанесенным на зерна носителя, протекает в динамических условиях, поэтому реактивами могут быть соединения, дающие при взаимодействии с исследуемым веществом окрашенные продукты.

В качестве носителей реактивов используются различные материалы – фарфор, крупнопористый силикагель и др.

Особое внимание при разработке трубок уделяется их избирательности, т.е. определять анализируемое вещество в присутствии сопутствующих примесей. С этой целью используются фильтрующие трубки для улавливания мешающих веществ.

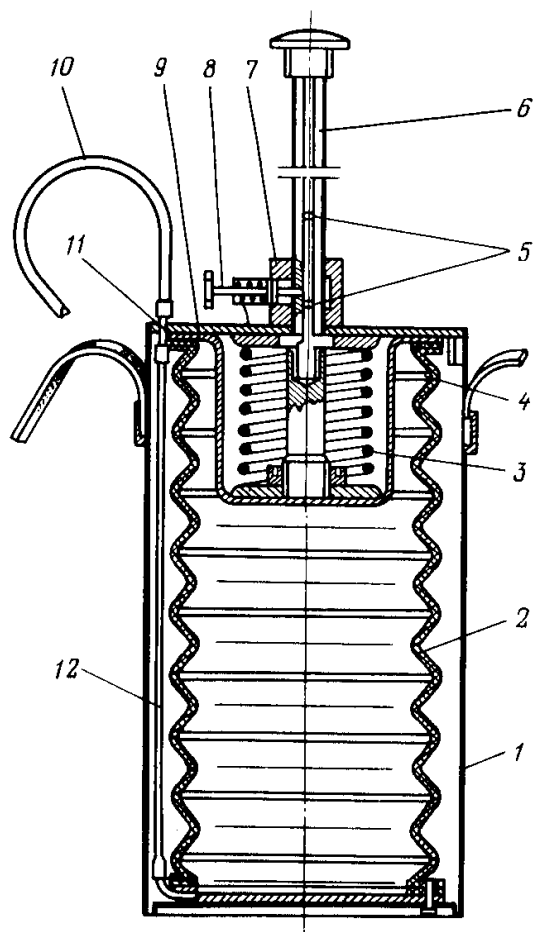
Для пропускания анализируемого воздуха через индикаторные трубки применяются различные воздухозаборные устройства:

- воздухозаборное устройство универсального газоанализатора УГ - 2;
- насос-пробоотборник НП-3М.

Устройство и принцип работы воздухозаборного устройства газоанализатора УГ – 2

Газоанализатор УГ-2 состоит из воздухозаборного устройства, измерительных шкал, комплектов индикаторных трубок и фильтрующих патронов, запаянных ампул с индикаторными порошками и набора других принадлежностей, необходимых для приготовления индикаторных трубок и фильтрующих патронов.

Основной частью воздухозаборного устройства (рис. 2.1) является резиновый сиффон 2 с двумя фланцами, стакана с пружиной 3, находящихся внутри корпуса 1. Во внутренних гофрах сиффона установлены распорные кольца 4 для придания жесткости сиффону и сохранения постоянства объема. Неподвижная втулка 7 служит для направления штока 6 при сжатии сиффона. На штуцер 11 с внутренней стороны надета трубка резиновая 12, которая через нижний фланец соединяется с внутренней полостью сиффона.



1 – корпус; 2 – сиффон; 3 – пружина; 4 – кольцо распорное; 5 – канавка с двумя углублениями; 6 – шток; 7 – втулка; 8 – фиксатор; 9 – плата; 10 – трубка резиновая; 11 – штуцер; 12 – трубка резиновая

Рисунок 2.1 - Воздухозаборное устройство газоанализатора УГ – 2

Индикаторная трубка присоединяется при анализе к свободному концу трубки 12. Исследуемый воздух пропускают через индикаторную трубку после предварительного сжатия сильфона штоком 6. На гранях (под головкой штока) обозначены объемы пропускаемого при анализе воздуха. На цилиндрической поверхности штока имеются четыре продольные канавки, каждая с двумя углублениями 6, служащими для фиксации фиксатором 8 объема пропускаемого воздуха. Расстояние между углублениями на канавках подобрано так, чтобы при ходе штока от одного углубления до другого сильфон забирал необходимый для анализа данного газа объем исследуемого воздуха.

Принцип работы газоанализатора УГ - 2 основан на изменении окраски слоя индикаторного порошка в индикаторной трубке после просасывания через нее воздухозаборным устройством воздуха рабочей зоны производственных помещений.

Устройство и принцип работы насоса-пробоотборника НП-3М

Насос-пробоотборник НП-3М (рис.2.2) предназначен для отбора разовых проб газоздушных смесей с целью последующего определения их химического состава с использованием индикаторных трубок в соответствии с ГОСТ Р 51712-2001, ГОСТ 12.1.014-84, ГОСТ Р 51945-2002.



Рисунок 2.2 - Насос-пробоотборник НП-3М

НП-3М представляет собой малорасходный ручной поршневой (механический) переносной аспиратор с прямым измерением объема газовой пробы (ГОСТ Р 51945-2002). Насос снабжен защитным адсорбционным патроном от воздействия агрессивных сред, устройством для вскрывания трубок и сигнальным устройством для контроля окончания просасывания пробы.

Технические характеристики:

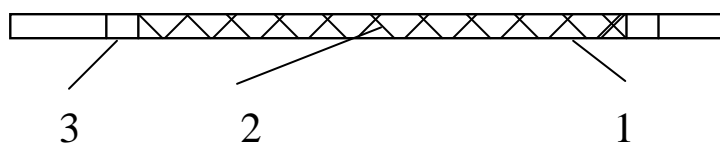
- 2 фиксированных положения штока, соответствующих номинальным значениям отбираемого объема (количеству прокачиваемой газовой смеси за один ход поршня) - 50 см^3 и 100 см^3 ;

- относительная погрешность - не более $\pm 5\%$;
- габаритные размеры - длина 285 мм, диаметр 42 мм;
- масса - не более 0,5 кг;
- полный средний срок службы насоса - не менее 6 лет;
- средняя наработка насоса на отказ - не менее 6 000 часов;
- гарантийный срок - 18 месяцев.

Подготовка к работе индикаторных средств.

Перед изготовлением стеклянные индикаторные трубки тщательно промывают водой и сушат при температуре $120 - 130^{\circ}\text{C}$. Высушенные трубки хранят в эксикаторе.

В один конец стеклянной индикаторной трубки 1 (рис. 2.3) вставляют стержень, в противоположный конец трубки вкладывают тампон из ваты, которую уплотняют с помощью стержня до 2 – 3 мм. Через воронку 3 в индикаторную трубку насыпают до края индикаторный порошок из ампулы, вскрытой перед употреблением. Ампулу с оставшимся индикаторным порошком запаивается.



1 – корпус трубки; 2 – слой индикаторного порошка; 3 – слой уплотнителя

Рисунок 2.3 - Конструкция индикаторной трубки

Постукивая по стенке трубки, удерживаемой вертикально стержнем, уплотняют столбик индикаторного порошка и вкладывают второй тампон толщиной 2-3 мм. Длина уплотненного столбика индикаторного порошка контролируется длиной стержня от конца до нанесенной на нем отметки.

Изготовленные индикаторные трубки герметизируют колпачками из смеси парафина с полиэтиленом, опуская поочередно концы трубок в расплавленную смесь на 3-7 мм. Во избежание длительного соприкосновения индикаторного порошка с воздухом трубки готовят партиями не более 10 штук. После проведения измерений индикаторный порошок высыпают. Трубки моют и сушат для повторного использования.

Оценка набивки индикаторных трубок осуществляется путем сравнения продолжительности хода штока до защелкивания с паспортными данными (табл.2.1). Если продолжительность хода штока до защелкивания меньше указанной в таблице, то индикаторный

порошок уплотнен в трубке слабо, и наоборот.

Параметры работы УГ – 2 представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Основные параметры работы газоанализатора УГ-2

Определяемый газ	Пропускаемый объем воздуха, см ³	Пределы измерения, мг/м ³	Продолжительность хода штока до защелкивания, с	Продолжительность просасывания воздуха, с
Азота оксиды	300	2,5-50	220-300	420
Аммиак	200	2,5-30	30-60	120
	100	20-100	4-10	40
Бензин	300	50 - 1000	200-230	420
Серы диоксид	300	5-30	110-160	300
	100	20-120	15-45	60
Сероводород	300	5-30	140-200	300
	100	20-200	10-30	60
Толуол	300	25-500	200-230	420
Углерода окись	200	5-120	180-240	420

Окраска, получаемая на наполнителе индикаторной трубки в результате взаимодействия исследуемого вещества с цветореагентом, а также мешающие определению вещества указаны в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Характеристика окраски индикаторных порошков

Определяемое вещество	Окраска индикаторного порошка в результате воздействия определяемого вещества	Газ, улавливаемый фильтрующим патроном	Вещества, мешающие определению
Азота оксиды	Красная	-	Галогены, озон свыше 10 ПДК
Бензин	Светло-коричневая	Непредельные углеводороды и пары воды	-
Аммиак	Синяя	-	Пары кислот, щелочей и аминов
Серы диоксид	Белая	Сероводород, аммиак, диоксида азот, пары воды	-
Сероводород	Коричневая	-	Меркаптаны
Толуол	Темно-коричневая	Пары воды	Пары углеводородов
Углерода окись	Коричневое (кольцо)	Ацетилен, этилен, оксиды азота, хлор, диоксид серы, водород	Пары карбонидов металлов

В зависимости от пределов измерений на конкретное определяемое вещество имеется одна или две шкалы. В основу построения измерительных шкал положены градуировочные кривые, выражающие зависимость длины окрашенного слоя порошка в индикатор-

ной трубке от концентрации анализируемого вещества.

Основная относительная погрешность результата измерения концентрации вредных веществ в воздухе газоанализатором УГ-2 до 1 ПДК не превышает $\pm 60\%$, в интервале от 1 до 2 ПДК - $\pm 35\%$ и свыше 2 ПДК - $\pm 25\%$.

Увеличение точности может быть достигнуто за счет использования готовых запаянных индикаторных трубок. При этом значительно упрощается процесс подготовки к проведению анализа. Кроме того, в большинстве случаев, измерительная шкала нанесена непосредственно на трубку. Для готовых запаянных индикаторных трубок в качестве воздухозаборного устройства используется чаще всего насосы-пробоотборники, например, НП-3М.

Устройство и принцип работы газоанализатора ЭЛАН

Газоанализаторы ЭЛАН предназначены для измерения массовой концентрации одного из компонентов – CO, NO, NO₂, SO₂, H₂S, O₃, Cl₂, NH₃ или объемной доли O₂ в воздухе.

Газоанализатор представляет собой автоматический показывающий и сигнализирующий прибор, конструктивно выполненный в одном блоке.



1- дисплей; 2- гнездо зарядного устройства; 3-вход газа; 4- выход газа;
5- кнопка «ВКЛ»; 6- кнопка «ВЫКЛ»; 7- кнопка – «МЕНЮ»; 8- кнопка
«ПОДСВЕТКА»

Рисунок 2.4 - Вид со стороны лицевой панели

Газоанализатор применяются для контроля содержания токсичных компонентов или кислорода в воздухе рабочей или жилой зоны. Принцип действия – электрохимический. Вид климатического исполнения УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150. Питание – от встроенного NiCd аккумуляторной батареи 9,6 В. В стационарных условиях может осуществляться от зарядного устройства в сети 220 В/ 50 Гц.

Условия эксплуатации:

- температура окружающей среды, °С: минус 10...50 (допу-

стимая)*; 5...45 (оптимальная);

- относительная влажность воздуха, %: 15...98 (без конденсации влаги);

- атмосферное давление, кПа: 84...106,7.

Таблица 2.3 - Измеряемые газы и диапазоны измерения газоанализатора ЭЛАН

Модификация	Измеряемый газ	Диапазон измерения
ЭЛАН-О ₂	кислород	0 – 25% об. д.
ЭЛАН-СО-50	оксид углерода	0 - 50 мг/м ³
ЭЛАН-СО-200	оксид углерода	0 – 200 мг/м ³
ЭЛАН-СО-500	оксид углерода	0 – 500 мг/м ³
ЭЛАН-Н ₂ S	сероводород	0 – 20 мг/м ³
ЭЛАН-SO ₂	диоксид серы	0 – 20 мг/м ³
ЭЛАН-NO	оксид азота	0 – 50 мг/м ³
ЭЛАН-NO ₂	диоксид азота	0 – 10 мг/м ³
ЭЛАН-О ₃	озон	0 – 1 мг/м ³
ЭЛАН-Cl ₂	хлор	0 – 10 мг/м ³
ЭЛАН-NH ₃	аммиак	0 – 20 мг/м ³

Примечание.

1) Газоанализаторы СО, Н₂S, NO, NO₂, О₃, Cl₂, NH₃ имеют поддиапазоны измерения в области малых концентраций (см. табл. 2.4).

2) Концентрация СО, Н₂S, NO, NO₂, О₃, Cl₂, NH₃ может быть представлена как в мг/м³, так и в ррт.

Таблица 2.4 - Пределы допускаемой основной погрешности

Модификация прибора	Единицы фактической величины	Диапазон измерения	Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности
ЭЛАН-О ₂	% об. д.	0 – 25	± 0,2
ЭЛАН-СО-50	мг/м ³	0 – 3 3 – 50	± 0,6 ± 0,2Сх*
ЭЛАН-СО-200	мг/м ³	0 – 200	± (0,5+0,1Сх)
ЭЛАН-СО-500	мг/м ³	0 – 500	± (0,5+0,1Сх)
ЭЛАН-Н ₂ S	мг/м ³	0 – 3 3 – 20	± 0,75 ± (0,15+0,2Сх)
ЭЛАН-SO ₂	мг/м ³	0 – 20	± (0,1+0,15Сх)
ЭЛАН-NO	мг/м ³	0 – 2 2 – 50	± (0,1+0,15Сх) ± (0,2+0,1Сх)
ЭЛАН-NO ₂	мг/м ³	0 – 1 1 – 10	± (0,005+0,2Сх) ± (0,055+0,15Сх)
ЭЛАН-О ₃	мг/м ³	0 – 0,1 0,1 – 1	± 0,02 ± 0,2 Сх
ЭЛАН-Cl ₂	мг/м ³	0 – 5 5 – 10	± (0,1+0,2Сх) ± (0,35+0,15Сх)
ЭЛАН-NH ₃	мг/м ³	0 – 3 3 – 20	± (0,1+0,2Сх) ± (0,25+0,15Сх)

* Сх – измеренная концентрация

Технические характеристики газоанализатора ЭЛАН:

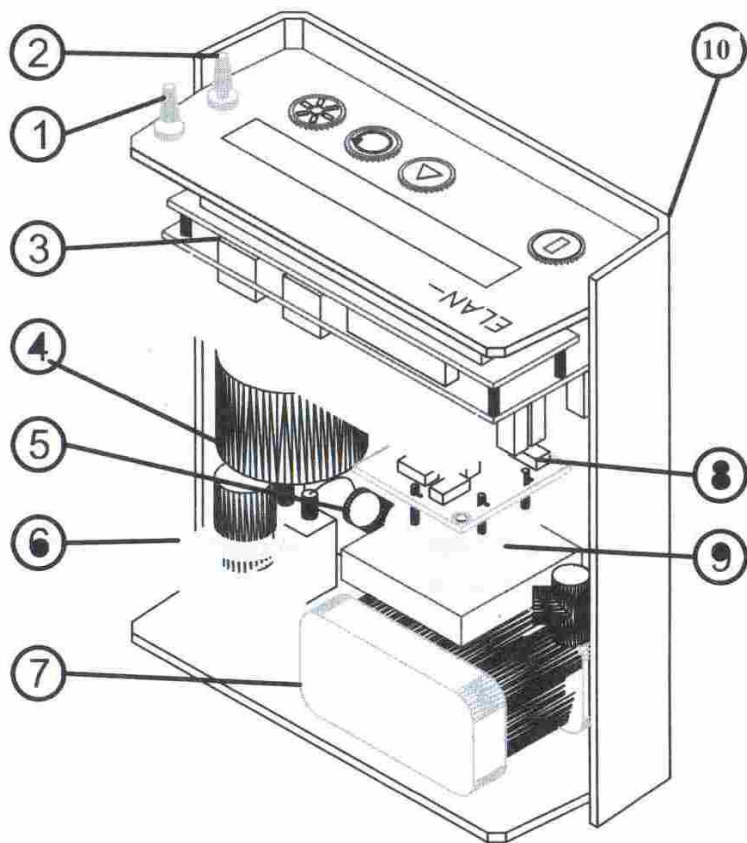
- пределы дополнительной погрешности от взаимного влияния неизмеряемых компонентов, не более $\pm 1,0\Delta$.
- пределы допускаемой дополнительной погрешности от измерения температуры окружающего воздуха на каждые $10\text{ }^\circ\text{C}$ составляют не более $\pm 0,5\Delta$.
- пределы допускаемой дополнительной погрешности от измерения давления (от 84 до 106,7) кПа – не более $\pm 0,3\Delta$.
- пределы допускаемой дополнительной погрешности от измерения влажности (от 15 до 95) % - не более $\pm 0,2\Delta$.
- время установления показаний T (0,9D) – не более 60 с.
- пределы допускаемой вариации показаний - $\pm 0,5\Delta$.
- время восстановления нормальной работы газоанализатора после снятия перегрузки, вызванной превышением содержания измеряемого компонента на 100% за пределы измерений, в течение 3 минут – не более 30 мин.
- время непрерывной работы газоанализатора – не менее 6 часов.
- масса – не более 1 кг.
- габаритные размеры - 150×70×180 мм.
- максимальная потребляемая мощность – 2 В.

Прибор работает следующим образом. Измеряемый газ через штуцер «ВХОД ГАЗА» (рис. 2.5, 2.6) подается с помощью насоса на рабочий электрод ячейки, потенциал которого поддерживается на заданном уровне потенциостатом. Измеряемый газ окисляется (для O_2 , Cl_2 , O_3 , NO_2 - восстанавливается) на рабочем электроде ячейки.

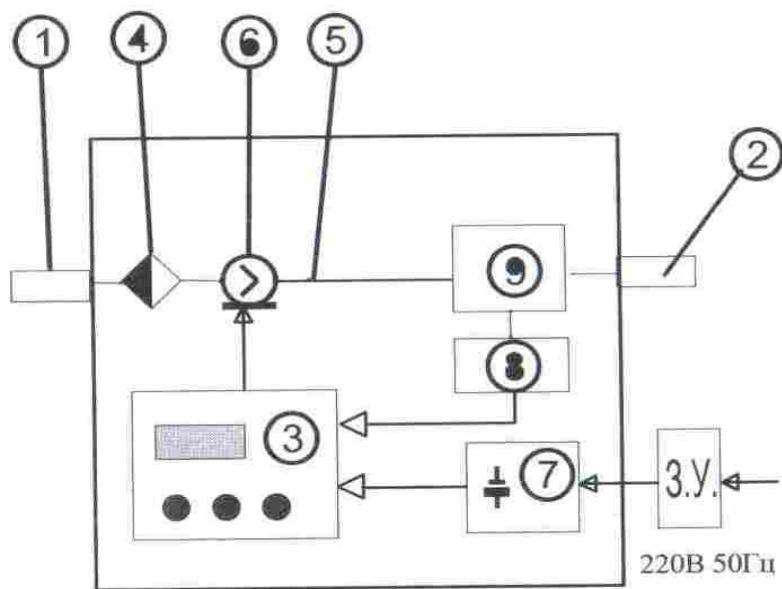
Выходной ток ячейки, пропорциональный концентрации определяемого компонента в анализируемом газе, усиливается в схеме и преобразуется в цифровую форму в единицах концентрации ppm или мг/м^3 (для O_2 - % об.д.).

Схема включает в себя:

- элементы пневмосхемы: насос (6), фильтр (4), электрохимическая ячейка (9);
- потенциостат (8) с предварительным усилителем сигнала ячейки;
- аккумулятор (7);
- процессорный модуль с клавиатурой и знакосинтезирующим дисплеем (3).



1- штуцер «Вход газа»; 2- штуцер «Выход газа»; 3- процессорный модуль; 4- фильтр; 5- тройник; 6- насос; 7- аккумуляторная батарея; 8- потенциостат; 9- электрохимическая ячейка; 10- корпус
 Рисунок 2.5 - Общий вид газоанализатора



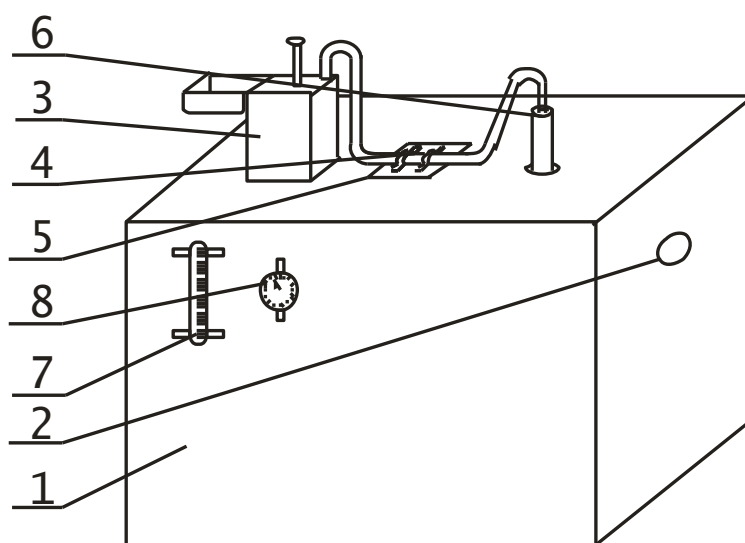
1- штуцер «Вход газа»; 2- штуцер «Выход газа»; 3- процессорный модуль; 4- фильтр; 5- тройник; 6- насос; 7- аккумуляторная батарея; 8 – потенциостат; 9- электрохимическая ячейка; ЗУ – зарядное устройство
 Рисунок 2.6 - Блок-схема газоанализатора

Информация о концентрации отражается на цифровом индикаторе. Если концентрация превышает установленный уровень, срабатывает сигнализация (прерывистый гудок и сообщение на дисплее), при условии установки функции «ТРЕВОГА» («ТРЕВОГА ВКЛ») с помощью меню.

Очистка анализируемого газа от пыли производится на фильтре (4), а от мешающих компонентов в фильтре, встроенном в ячейку. Работой газоанализатора руководит процессорный модуль. Газоанализатор питается от встроенного NiCd аккумулятора 9,6 В (7). В стационарных условиях питание газоанализатора может осуществляться от зарядного устройства. При этом, если включена подсветка, происходит подзарядка аккумуляторов в приборе.

Описание лабораторной установки.

Лабораторная установка (рис. 2.7) представляет собой герметичную камеру 1, моделирующую производственное помещение, в которую через отверстие 2 подается определяемое вещество, создавая тем самым в камере некоторую концентрацию загрязнителя. На крышке воздушной камеры установлены воздухозаборное устройство 3, к которому присоединена набитая вручную индикаторная трубка 4 с установленной измерительной шкалой 5, фильтрующий патрон 6. Свободный конец фильтрующего патрона помещен в отверстие крышки для улавливания веществ, мешающих определению исследуемого вещества. Также на камере находится термометр 7 и барометр 8.



1 – камера; 2 – отверстие для ввода определяемого газа; 3 – воздухозаборное устройство; 4 – индикаторная трубка; 5 – измерительная шкала; 6 – фильтрующий патрон; 7 – термометр; 8 – барометр

Рисунок 2.7 - Схема лабораторной установки

Порядок выполнения работы.

1. Подготовить к работе индикаторные трубки и фильтрующие патроны.

2. Проверить герметичность воздухозаборного устройства 3 (рис.2.1) следующим образом: сжать сильфон штоком до верхнего отверстия на объеме 400 см^3 , и зафиксировать положение; отвести фиксатор и после первоначального рывка отпустить – устройство герметично, если в течение 10 ± 2 мин не наблюдается заметного перемещения штока.

3. На крышке камеры закрепить измерительную шкалу для определяемого вещества. В соответствии с табл.2.1 определить объем просасываемого воздухозаборным устройством воздуха.

4. Осуществить подачу в воздушную камеру загрязняющие вещества. Если, определяется содержание окислов азота или диоксида серы, вставить выходную трубку прибора для получения газа в боковое отверстие и смешать соответствующие компоненты для получения определяемого газа (для получения окислов азота проводят реакцию меди и азотной кислоты). Если определяется содержание окиси углерода, вставить в боковое отверстие тлеющую сигарету на 30 с.

5. Отвести фиксатор воздухозаборного устройства 3, и вставить шток в направляющую втулку так, чтобы наконечник фиксатора скользил по канавке штока, над которой указан просасываемый объем воздуха. Давлением руки на головку штока сжимать сильфон до тех пор, пока конец фиксатора попадет в верхнее углубление в канавке штока.

6. Соединить индикаторную трубку набитую вручную 4 с воздухозаборным устройством 3 так, чтобы нижняя граница индикаторного порошка в трубке располагалась над нулевой отметкой измерительной шкалы. Другой конец трубки соединить с фильтрующим патроном, который поместить в воздушную камеру.

7. Надавливая одной рукой на головку штока воздухозаборного устройства 3, другой отвести фиксатор. Как только шток начнет двигаться, фиксатор отпустить и включить секундомер. Когда фиксатор войдет в нижнее углубление канавки штока, послышится щелчок, но просасывание воздуха еще продолжается. Общее время просасывания воздуха должно соответствовать приведенному в табл. 2.1.

8. По значению, указанному на измерительной шкале, совпа-

дающей с верхней границей окрашенного столбика порошка, определить концентрацию определяемого газа C_{01} в мг/м^3 . Если концентрация вредного вещества на градуировочной шкале приводится в %, пересчитать концентрацию газа в мг/м^3 :

$$C_{02} = 446 \cdot a \cdot M,$$

где a - концентрация газа, выраженная в %, M – молярная масса определяемого вещества.

9. Осуществлять отбор воздуха в газоанализатор ЭЛАН, снять показания C_{02} и занести их в таблицу 2.7.

10. Снять показания термометра и барометра и занести их в таблицу полученных результатов (табл.2.7).

11. Поскольку в реальных условиях ведения того или иного производственного процесса могут иметь место значительные колебания внешних условий, то в таких случаях для отслеживания изменений концентраций в течение рабочего времени необходимо привести полученные значения концентрации (C_{01} и C_{02}) к нормальным условиям.

$$C = C_o \cdot \frac{273+t}{273} \cdot \frac{101,3}{p},$$

где t – температура воздуха в камере, $^{\circ}\text{C}$; p – атмосферное давление в камере, кПа, (при нормальных условиях 101,3 кПа),

Таблица 2.7 - Таблица результатов

Определяемое вещество	Условия проведения эксперимента		Концентрация определяемого вещества, мг/м^3		Концентрация определяемого вещества, приведенная к нормальным условиям, мг/м^3	
	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Давление, кПа	C_{01}	C_{02}	C_1	C_2

12. Сопоставить концентрации газа C_1 и C_2 между собой и сравнить их с ПДК (табл. 2.8). Сделать вывод.

Таблица 2.8 - ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

№ п/п	Наименование вещества	Формула	Величина ПДК (мг/м^3)	Агрегатное состояние в воздухе	Класс опасности	Особенности действия на организм
1	Азота оксиды (в пересчете на NO_2)		5	п	3	О
2	Углерод оксид	CO	20	п	4	О
3	Сера диоксид ⁺	SO ₂	10	п	3	

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 2.1 Понятие ПДК.
- 2.2 Методы определения вредных веществ в воздухе.
- 2.3 Сущность колориметрического метода определения вредных веществ в воздухе.
- 2.4 Особенности линейно-колориметрического метода.
- 2.5 Назначение фильтра, устанавливаемого перед индикаторными трубками.
- 2.6 Устройство и принцип работы газоанализатора УГ-2.
- 2.7 Назначение и основные характеристики газоанализатора ЭЛАН.
- 2.8 Приведение газа к нормальным условиям.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И РАСХОДА ГАЗОВОГО ПОТОКА

Цель работы:

- исследовать поле скоростей при движении газового потока по газопроводу круглого сечения.
- приобрести практические навыки определения расход газов.

Общие положения.

Для контроля работы газоочистных установок следует знать объемный расход газов, проходящих по газопроводу; обычно его определяют, замеряя скорость движения газов. В этом случае с помощью пневмометрических трубок и микроманометра измеряют статического, динамического и полного давлений газового потока. Зная динамическое давление и плотность газа, можно определить линейную скорость газового потока в точке замера.

Измерение расхода газа с помощью пневмометрических трубок обладает рядом преимуществ перед другими методами. Для них не нужны длинные участки для равномерности потока, поскольку эти приборы служат для измерения локальных скоростей. Трубки невелики по размерам, поэтому их можно ввести через небольшие штуцеры; они не создают добавочного сопротивления потоку и часто из-за сложности конфигурации газоходов являются единственными приборами для измерения скорости газопылевого потока.

Пневмометрическая трубка имеет два канала (рис.3.1), один из которых воспринимает полное давление, а другой - только статиче-

ское. При подключении обоих каналов к показывающему прибору таким образом, чтобы воспринимаемые давления были направлены навстречу друг другу, прибор покажет разность между полным и статическим давлениями, т.е. динамическое давление. В качестве показывающего прибора могут применяться манометры дифференциальные цифровые, U-образные манометры, микроманометры ММН или другого типа.

В зависимости от конструкции статическое давление воспринимается пневмометрической трубкой с большими или меньшими отклонениями от его истинной величины, что в свою очередь влечет за собой некоторое искажение при замерах динамического давления. Поэтому величины динамических давлений, полученных с помощью пневмометрических трубок, приходится умножать на поправочный коэффициент K_{mp} , являющийся безразмерной величиной, представляющей собой отношение истинного значения P_0 , Па, к замеряемой его величине P_x :

$$P_0 = P_x \cdot K_{mp}$$

Материалом для изготовления пневмометрических трубок обычно служит латунь или сталь.

На рис. 3.1-3.3 приведены конструкции пневмометрических трубок.

Трубка Прандтля имеет головку (рис.3.1) с полусферическим наконечником, устанавливаемую параллельно движению газов. В головке есть центральное отверстие, соединяющееся с одним из каналов трубки. Через этот канал на показывающий прибор передается давление, соответствующее полному давлению движущегося потока, набегающего на полусферический наконечник. На боковой поверхности головки сделаны щелевые отверстия, сообщаемые с другим каналом трубки. Эти отверстия воспринимают и передают на показывающий прибор лишь статическое давление, причем почти без искажений благодаря небольшой ширине щелей и их расположению в зоне нулевого динамического давления. Трубка Прандтля дает погрешность до 2%. При отклонениях трубки от оси потока не более 15° ее можно не тарировать. Основным недостатком трубки - при запыленности газов свыше 10 г/м^3 она быстро забивается пылью.

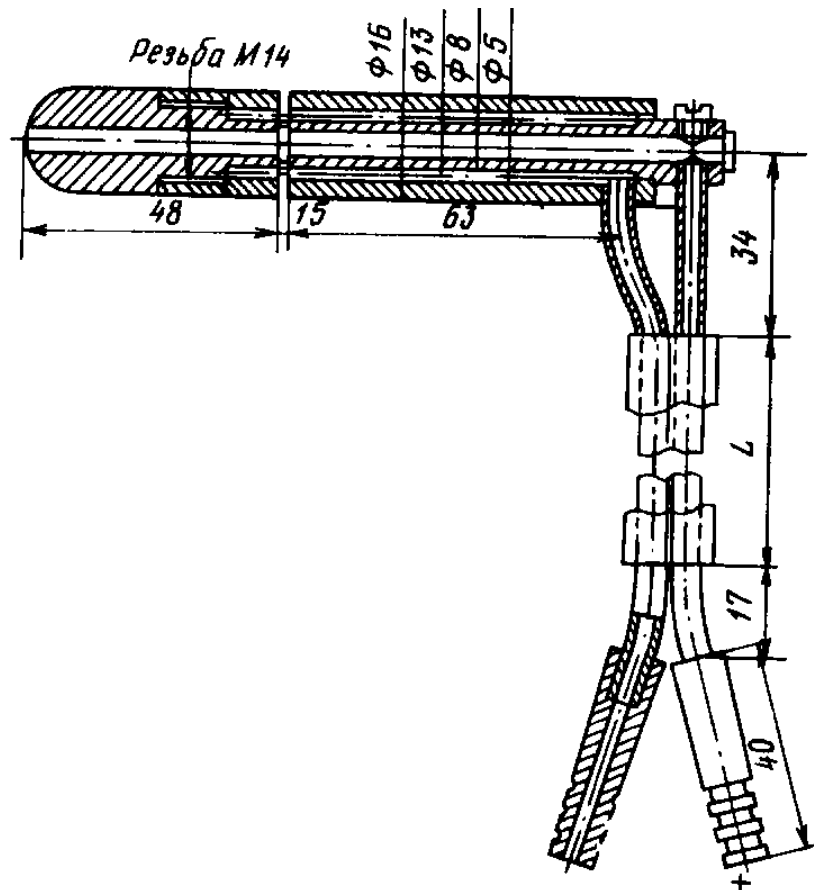


Рисунок 3.1 - Трубка Прандтля

Трубка конструкции НИИОгаза (рис.3.2) для замера статического давления имеет фасонный вырез и припаивается перед стержнем трубки полного напора. Показания динамического напора трубки этой конструкции почти вдвое больше действительного, что важно при измерении небольших скоростей. Определить статический напор этой трубкой нельзя, так как требуется вычисление поправочного коэффициента. Конструкция трубки позволяет легко продувать и прочищать ее, что дает возможность многократных измерений без засорений.

Трубка конструкции Гинцветмета (рис.3.3) цилиндрического профиля имеет два канала (для измерения полного и статического напоров), заключенные в оправляющую их трубку большого диаметра. Наконечник оправляющей трубки имеет два отверстия, соединенных с внутренними трубками (лобовое - с трубкой для измерения полного напора, тыльное - статического напора). Достоинством пневмометрической трубки Гинцветмета является стабильность показаний при отклонении оси отверстий от оси пылегазового потока до 20° . Она мало чувствительна к забиванию пыли.

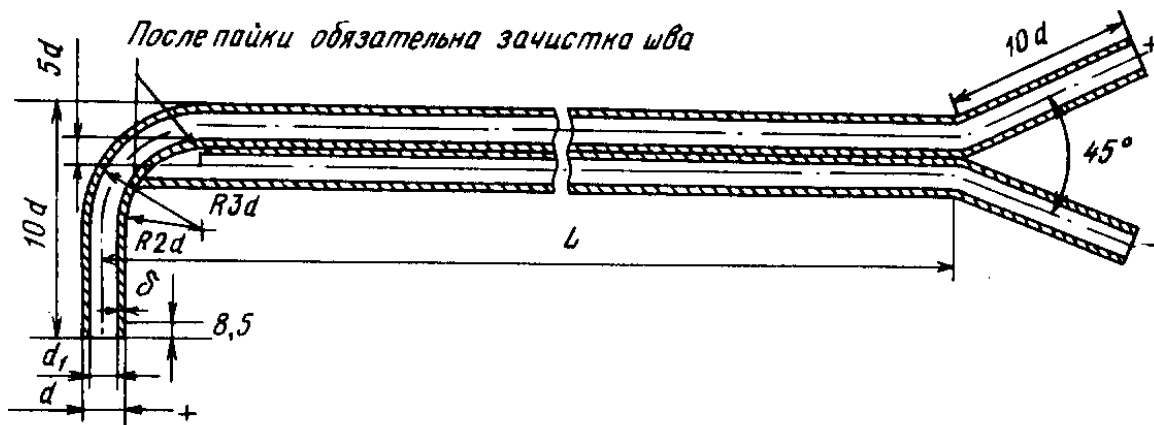


Рисунок 3.2 - Трубка НИИОгаза

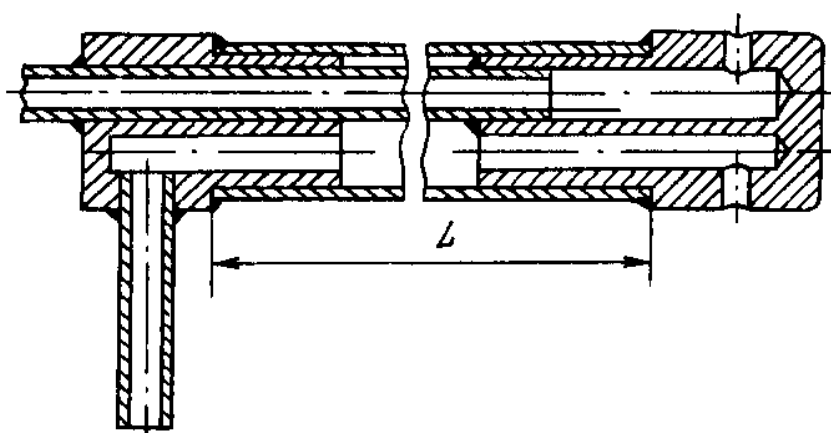


Рисунок 3.3 - Трубка Гинцветмета

Основные характеристики рассмотренных пневмометрических трубок приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Характеристики пневмометрических трубок

	Прандтля	Конструкции НИИОгаза	Конструкции Гинцветмета
Коэффициент K_{mp}	$1 \pm 0,04$	$0.51 \pm 0,02$	0.49
Допустимое отклонение от оси пыле-газового потока, град	15	15	20
Допустимая запыленность газов для измерений, г/м ³	1	300	—

Большое значение при измерениях пневмометрическими трубками имеет правильный выбор сечений газоходов для замеров. Эти сечения должны выбираться на прямолинейных, желательно вертикальных участках, имеющих равную площадь на всем протяжении и достаточно удаленных от фасонных частей – коленьев, диффузоров, шиберов.

Скорость движения газов как при ламинарном, так и при турбулентных режимах неодинакова в разных точках сечения газопровода. Поэтому скорость газового потока, измеренная с помощью пневмометрической трубки и микроманометра, является скоростью, характеризующей конкретную точку сечения газопровода. Для определения средней скорости движения потока необходимо измерять скорость в различных местах сечения, условно разделяя его на ряд равновеликих площадей.

Если газоход имеет прямоугольное сечение, его разбивают на площади, подобные сечению газохода, плоскостями, параллельными его стенкам, и измерения производят в центре каждого полученного прямоугольника (рис. 3.4). Сторона такого прямоугольника не должна превышать 150-200мм. Минимальное число измерительных точек - три в каждом направлении. На двух перпендикулярных сторонах газохода по осям, на которых расположены центры прямоугольников, прорезают отверстия диаметром 50 мм и в этих местах приваривают короткие (25-30 мм) штуцера из отрезков труб с внутренним диаметром 50 мм, которые закрывают металлической крышкой с резьбой. Для поддержания трубки во время замеров рекомендуется приваривать к газоходу перпендикулярно по оси рядом со штуцером стальной пруток.

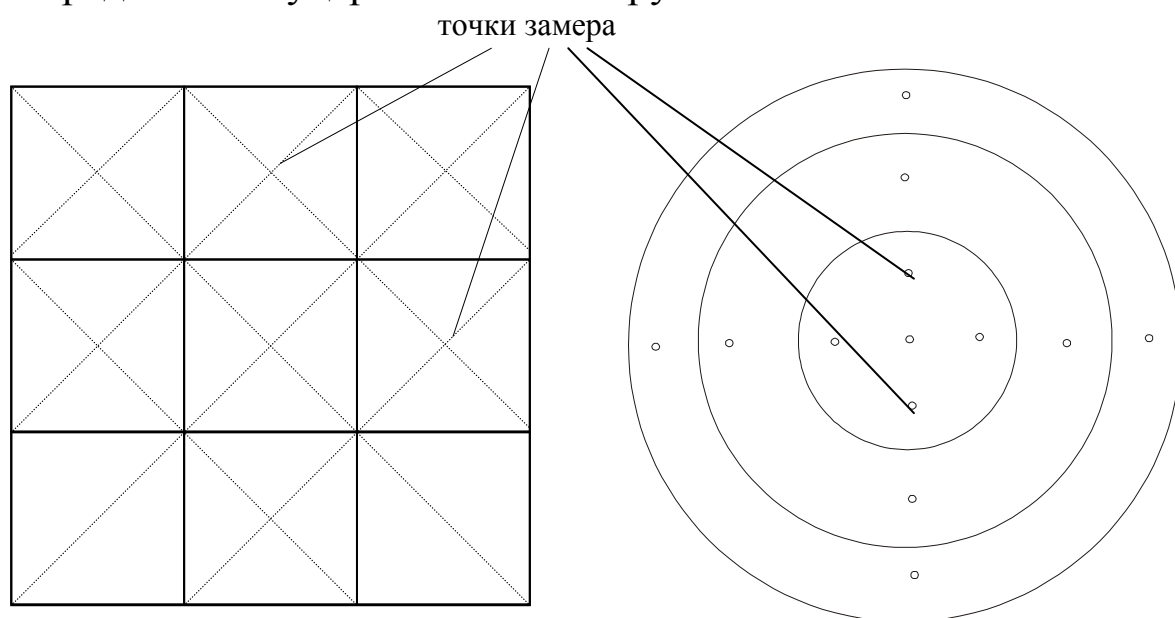


Рисунок 3.4 - Разбивка газохода на равновеликие площади

Газоходы круглого сечения разбивают на ряд concentрических колец с равновеликими площадями, и измерение производят по двум взаимно перпендикулярным диаметрам, для чего к стенкам

газохода приваривают два штуцера. Расстояние между штуцерами - четверть окружности газохода. Можно считать, что достаточно надежные результаты могут быть получены, если газоходы круглого сечения будут разбиты на следующее число колец:

Диаметр газохода, мм	200	200-400	400-600	600-800	800-1000	1000
Число колец	3	4	5	6	8	10

Расстояние до центра газохода до точки замера l_i определяется по формуле

$$l_i = R \cdot \sqrt{(2 \cdot i - 1) / 2 \cdot n}, \text{ м}$$

где R - радиус газохода, м; n - число колец, на которые разделена площадь газохода; i - порядковый номер кольца (считая от центра).

В практических целях удобно пользоваться расстоянием от внутренней стенки газохода в месте ввода заборной трубки до точки замера. Для круглого газохода это расстояние может быть рассчитано по формуле

$$l_n = K_n \cdot D, \text{ м} \quad (1)$$

где D - диаметр газохода, м; K_n - коэффициент (выбирается по табл.3.2).

Таблица 3.2 - Коэффициент K_n для определения расстояния от внутренней стенки газохода до точки отбора пробы

K_n	Число равновеликих колец							
	1	2	3	4	5	6	7	8
K_1	0.146	0.067	0.044	0.032	0.026	0.021	0.018	0.016
K_2	0.500	0.250	0.146	0.105	0.082	0.067	0.072	0.049
K_3	0.854	0.500	0.296	0.194	0.146	0.118	0.098	0.096
K_4		0.750	0.500	0.324	0.226	0.177	0.146	0.124
K_5		0.933	0.704	0.500	0.342	0.25	0.212	0.169
K_6			0.854	0.676	0.500	0.356	0.267	0.22
K_7			0.956	0.806	0.658	0.500	0.366	0.283
K_8				0.895	0.774	0.644	0.500	0.375
K_9				0.968	0.854	0.750	0.634	0.500
K_{10}					0.918	0.823	0.733	0.625
K_{11}					0.974	0.882	0.788	0.717
K_{12}						0.933	0.854	0.780
K_{13}						0.979	0.902	0.831
K_{14}							0.928	0.876
K_{15}							0.982	0.924
K_{16}								0.951
K_{17}								0.984

После определения динамического давления в каждой выбранной точке определяются соответствующие скорости газопылевого потока по формуле:

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \cdot P_d}{\rho_z}}, \quad (2)$$

где P_d - динамическое давление, Па; ρ_z - плотность газа, кг/м³.

Расход газа через данное сечение определяется по формуле:

$$Q = v_o \cdot \alpha_{cp} \cdot S, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3)$$

где v_o - скорость газа в центре газохода, м/с; S - площадь сечения газохода, м²; α_{cp} - коэффициент распределения скорости по сечению газохода.

Величина α_{cp} исчисляется по формуле:

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}{n}, \quad (4)$$

где n - число точек измерения по сечению газохода.

Величины $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ рассчитываются как отношение значе- ний скорости в точке измерения к скорости в центре газохода.

Манометр дифференциальный цифровой ДМЦ-01О

Прибор ДМЦ-01О предназначен для измерения давления, разрежения и разности давлений неагрессивных, негорючих газов.

В комплекте с трубками напорными модификации Пито и Пито цилиндрическими, в соответствии с ГОСТ 8.361-79, манометр позволяет определять скорость и объемный расход газа в одной точке поперечного сечения трубы, а в комплекте с трубками напорными модификации НИИОГАЗ, манометр позволяет в соответствии с ГОСТ 17.2.4.06-90 определять скорость и объемный расход газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения в газоходах и вентиляционных системах.

Прибор состоит из четырех основных функциональных частей: полупроводникового датчика дифференциального давления, аналого-цифрового преобразователя, микропроцессора и панели управления работой прибора. Прибор собран в пластмассовом корпусе (рис. 3.5), на лицевой стороне которого расположены жидкокристаллический дисплей и панель с функциональными кнопками управления работой прибора.



Рисунок 3.5 - Манометр дифференциальный цифровой ДМЦ-010

На торцевой панели расположены штуцеры для подключения к источникам давления, штуцер « + » предназначен для подключения полного давления, а штуцер « - » статического.

На боковой панели расположен разъем для подключения зарядного устройства (ЗУ).

На задней панели расположена подставка для размещения прибора на ровной горизонтальной поверхности. Под крышкой, прикрученной двумя винтами, имеется отсек для аккумуляторной батареи.

Прибор работает следующим образом: измеряемое давление, приложенное к полупроводниковому датчику, преобразуется в электрический сигнал, величина которого пропорциональна измеряемому давлению. Этот сигнал преобразуется аналого-цифровым преобразователем и передается в микроконтроллер, который в соответствии с заложенной в память градуировочной характеристикой, выводит на дисплей прибора значения измеренного давления.

Питание прибора осуществляется от аккумуляторной батареи, установленной в батарейном отсеке.

При подготовке к работе необходимо расположить прибор в горизонтальном или вертикальном (но не боковом) положении, или опереть его на подставку, расположенную на задней панели. Затем включить прибор нажатием кнопки «ВКЛ» - прибор начнет прогрев и тестирование. На дисплее будет производиться обратный отсчет

оставшегося времени прогрева, а также высвечивается индикатор заряда аккумулятора. По окончании прогрева прибор автоматически установит нуль (при этом соединительные шланги должны быть отсоединены от штуцеров для подвода давления). После этого кнопкой «ЕДИН» необходимо выбрать необходимую единицу измерений: мм водяного столба («мм Н₂О») или Паскаль («Па»).

Измерения полного, статического и динамического давлений производятся в соответствии с рис. 3.6. Показания давления в Па (мм Н₂О) выводятся на дисплей, при этом можно зафиксировать измеренное значение давления на дисплее, нажав кнопку «ФИКС». Повторное нажатие кнопки «ФИКС» позволит продолжить измерение.

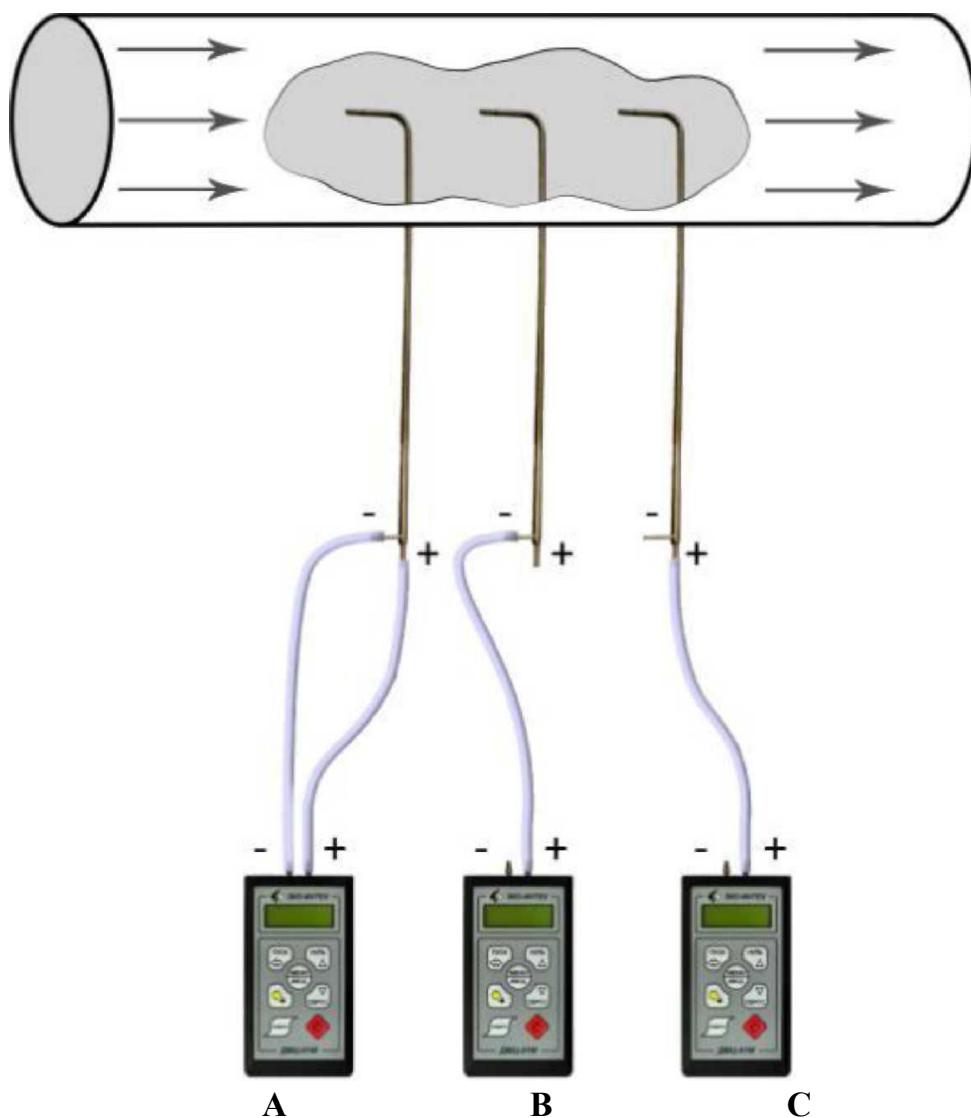


Рисунок 3.6 - Измерение динамического давления (А), скорости потока; измерение статического давления (В); измерение полного давления (С)

Для расчета среднего, а также максимального и минимального значений измеренного давления, необходимо нажать кнопку « ΔP_{cp} ». Цифрами в верхней строке отображается количество измерений. Через необходимый промежуток времени, после нажатия кнопки « ΔP_{cp} » на дисплее отобразится рассчитанное среднее значение давления. После повторного нажатия кнопки « ΔP_{cp} » на дисплее отобразится максимальное и минимальное значения измеренной величины работы в этом режиме.

Описание лабораторной установки.

Схема лабораторной установки представлена на рис.3.7.

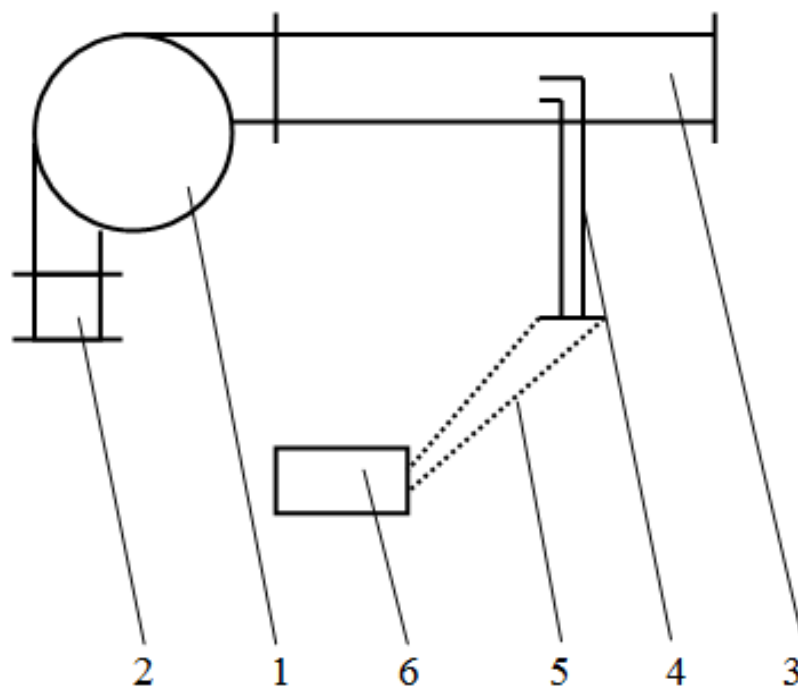


Рисунок 3.7 - Схема лабораторной установки

Побудителем движения воздуха является вентилятор 1 с установленной на всасывающем отверстии однолопастной дроссельной задвижкой 2, которая регулирует объемную скорость воздуха. В воздуховоде 3 имеются отверстие с патрубком для установки пневмометрической трубки Прандтля 4. Для замеров полного, статического и динамического давления используется манометр дифференциальный цифровой ДМЦ-01О, соединенный с пневмометрическими трубками с помощью резиновых шлангов 5.

Порядок проведения работы.

1. Измерить диаметр воздуховода и чего выбрать число колец. Определить количество и месторасположение точек замера. Сделать эскиз сечения с выбранными точками.

2. Подготовить манометр ДМЦ-01О к работе. Пневмометрическую трубку Прандтля при помощи резиновых шлангов соединить с манометром ДМЦ-01О в соответствии рис.3.6 (А).

3. Через штуцер в воздуховоде вставить плотно пневмометрическую трубку с надетой на нее резиновой пробкой. Трубку развернуть так, чтобы входное отверстие трубки располагалось навстречу газовому потоку и приступить к замерам среднего значения динамических давлений в соответствующих точках, перемещая трубку вдоль диаметра, от ближней стенки газопровода до противоположной в точках замера определенных в пункте 1.

4. Определить скорости движения воздуха во всех точках измерения по формуле (2). Построить эпюру скоростей воздушного потока. Для этого в определенном масштабе отложить диаметр газопровода и нанести выбранные точки измерения. Затем в этих точках провести вертикали, на которые также в определенном масштабе отложить полученные в результате расчетов значения скоростей. Концы векторов скоростей соединить плавной кривой, получив профиль скоростей в сечении газопровода. Пример построения эпюры скоростей воздушного потока в изометрии представлен на рис. 3.8.

6. Определить расход воздуха по формулам (3) – (6).

7. Результаты работы записать в таблицу 3.3.

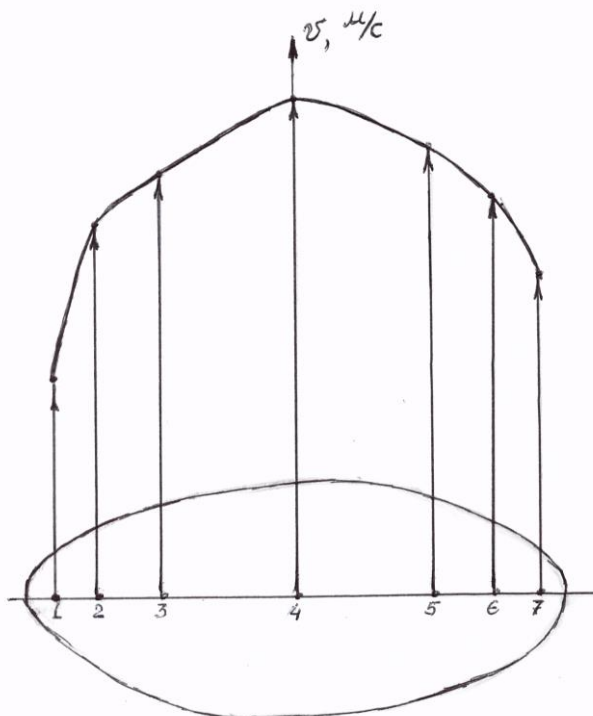


Рисунок 3.8 - Эпюра скоростей газового потока

Таблица 3.3 - Таблица результатов измерений и их обработки

Точки измерения	Динамическое давление P_d , Па	Скорость газа v , м/с	Отношение v/v_0	Расход газа Q , m^3/c
1				
2				
3				
...				

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Порядок определения расхода газа с помощью пневмометрических трубок.
3. Краткое описание лабораторной установки.
4. Результаты определения расхода газа с помощью пневмометрической трубки (таблица 3.3).
5. Эпюра скоростей воздушного потока.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 3.1 Преимущества определения расхода газа с помощью пневмометрических трубок.
- 3.2 Порядок определения расхода газа с помощью пневмометрических трубок.
- 3.3 Устройство и сравнительная характеристика конструкций пневмометрических трубок.
- 3.4 Определение точек измерения скорости газа в измерительном сечении.
- 3.5 Принцип действия и основные характеристики манометра дифференциального цифрового ДМЦ-010.
- 3.6 Эпюры скоростей газа в измерительном сечении.
- 3.7 Порядок определения расхода газа с помощью пневмометрических трубок.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЦИКЛОНА

Цель работы:

- изучить методику определения концентрации пыли в газовом потоке;
- определить эффективность работы циклона.

Общие положения.

Циклон является одним из наиболее распространенных пылеулавливающих аппаратов. В циклонах можно достаточно полно улавливать частицы размером 15-20 мкм и более. Обычно циклоны используют в качестве первой ступени улавливания пыли, обеспечивающей выделение из газового потока основной массы (60-80%) наиболее крупных частиц. Если есть необходимость более тонкой очистки газа, то за циклонами устанавливают, например, рукавные фильтры или электрофильтры.

Центробежная сила, возникающая при работе циклона, создается при вращении газового потока внутри цилиндрической части корпуса (рис 4.1). Это вращение достигается путем тангенциального ввода газа в циклон. Центробежной силой пылевые частицы отбрасываются на стенки корпуса, под действием перемещающегося в осевом направлении вращающегося потока и силы тяжести движутся вниз и вместе с частью газов попадают в бункер для пыли. Часть газов, попавших в бункер и освободившихся от пыли, возвращается в циклон через центральную часть пылеотводящего отверстия, давая начало внутреннему вихрю очищенного газа, покидающего аппарат через выхлопную трубу. Отделение частиц от попавших в бункер газов происходит под действием сил инерции при изменении направления движения газов на 180°.

При движении во вращающемся криволинейном потоке газа частицы пыли находятся под действием силы тяжести, центробежной силы и силы сопротивления среды. Поскольку масса частиц мала, силой тяжести можно пренебречь. Величина центробежной силы, действующей на сферическую частицу массой m , определяется по формуле:

$$P_{ц} = \frac{v_T^2 \times m}{R} = \frac{\pi \times d_{ч}^3}{6} \cdot \rho_{ч} \cdot \frac{v_T^2}{R} \quad (1)$$

где R - радиус кривизны траектории частицы в рассматриваемой точке, м; v_T - тангенциальная составляющая скорости частицы, м/с; $d_{ч}$ - диаметр частицы, м; $\rho_{ч}$ - плотность материала частицы, кг/м³.

Под действием центробежной силы частица перемещается в радиальном направлении, преодолевая сопротивление среды. При этом она проходит ряд состояний, характеризуемых равновесием изменяющихся по величине центробежной силы и силы сопротивления среды.

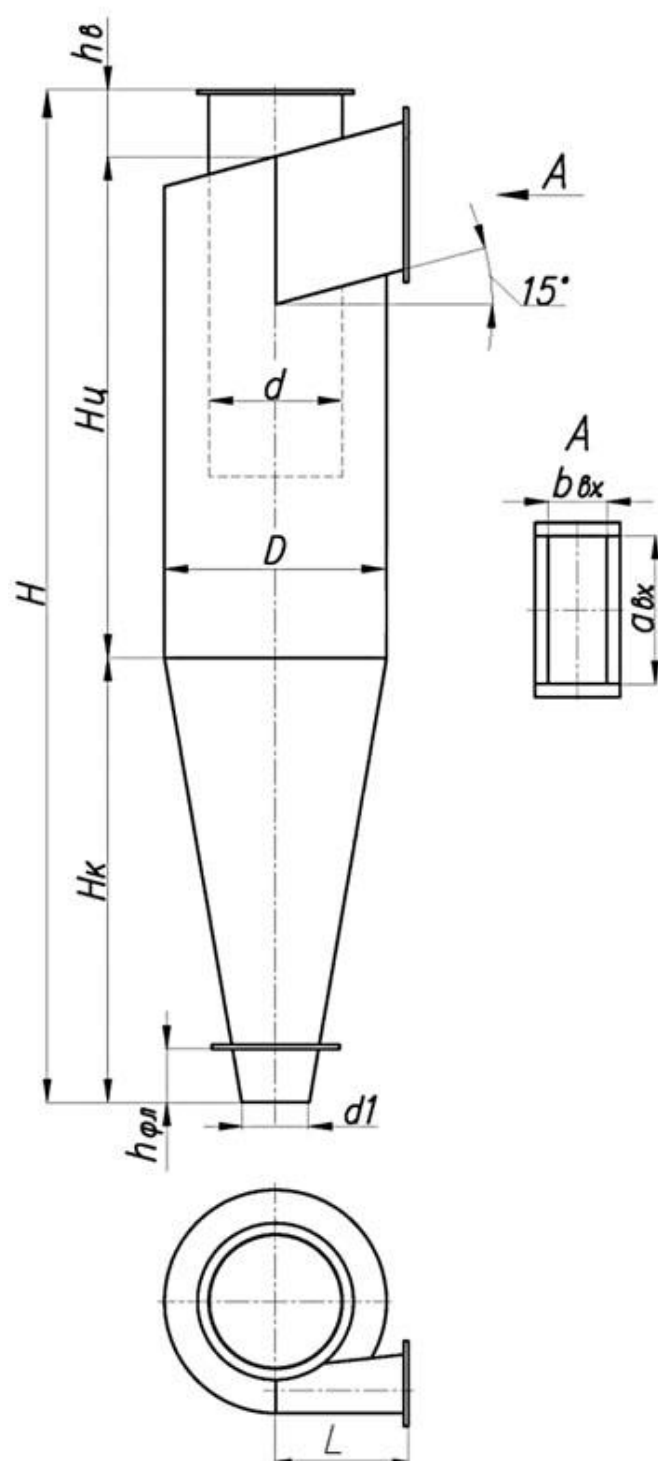


Рисунок 4.1 - Циклон конструкции НИИОГАЗ ЦН-15

С учетом закона Стокса можно написать

$$\frac{\pi \times d_{\text{ч}}^3}{6} \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot \frac{v_{\text{r}}^2}{R} = 3 \cdot \pi \cdot V_{\text{R}} \cdot d_{\text{ч}} \cdot \mu \quad (2)$$

где μ — вязкость среды, Н с/м²; v_{r} - скорость частицы в радиальном направлении, м/с.

С использованием ряда упрощающих допущений для условий равновесия действующих на частицу сил получена формула, позво-

ляющая определить наименьший размер осаждаемых в циклоне частиц

$$d_{min} = 3 \times \sqrt{\frac{\mu \cdot (R_2 - R_1)}{\pi \cdot n \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot v_t}} \quad (3)$$

где R_1 и R_2 — соответственно радиусы центральной трубы и циклона, м; n - число кругов, совершаемой частицей в циклоне/

Анализ выражения (3) позволяет сделать следующие выводы о влиянии различных факторов на степень пылеулавливания в циклоне.

1. Эффективность работы циклона возрастает с повышением скорости газового потока в циклоне. Однако при больших скоростях наблюдается снижение степени улавливания пыли, что объясняется уносом уже осажденной пыли. С ростом скорости газового потока возрастает абразивный износ аппарата, а также его гидравлическое сопротивление. Обычно принимаются скорости движения газа в циклоне в пределах 3 - 4,5 м/с.

2. С увеличением вязкости газа эффективность циклона падает. Следовательно, с ростом температуры очищаемого газа степень улавливания в циклоне пылевых частиц будет снижаться.

3. С увеличением размеров циклонов их эффективность снижается. Поэтому применять циклоны диаметром более 1 м не рекомендуется.

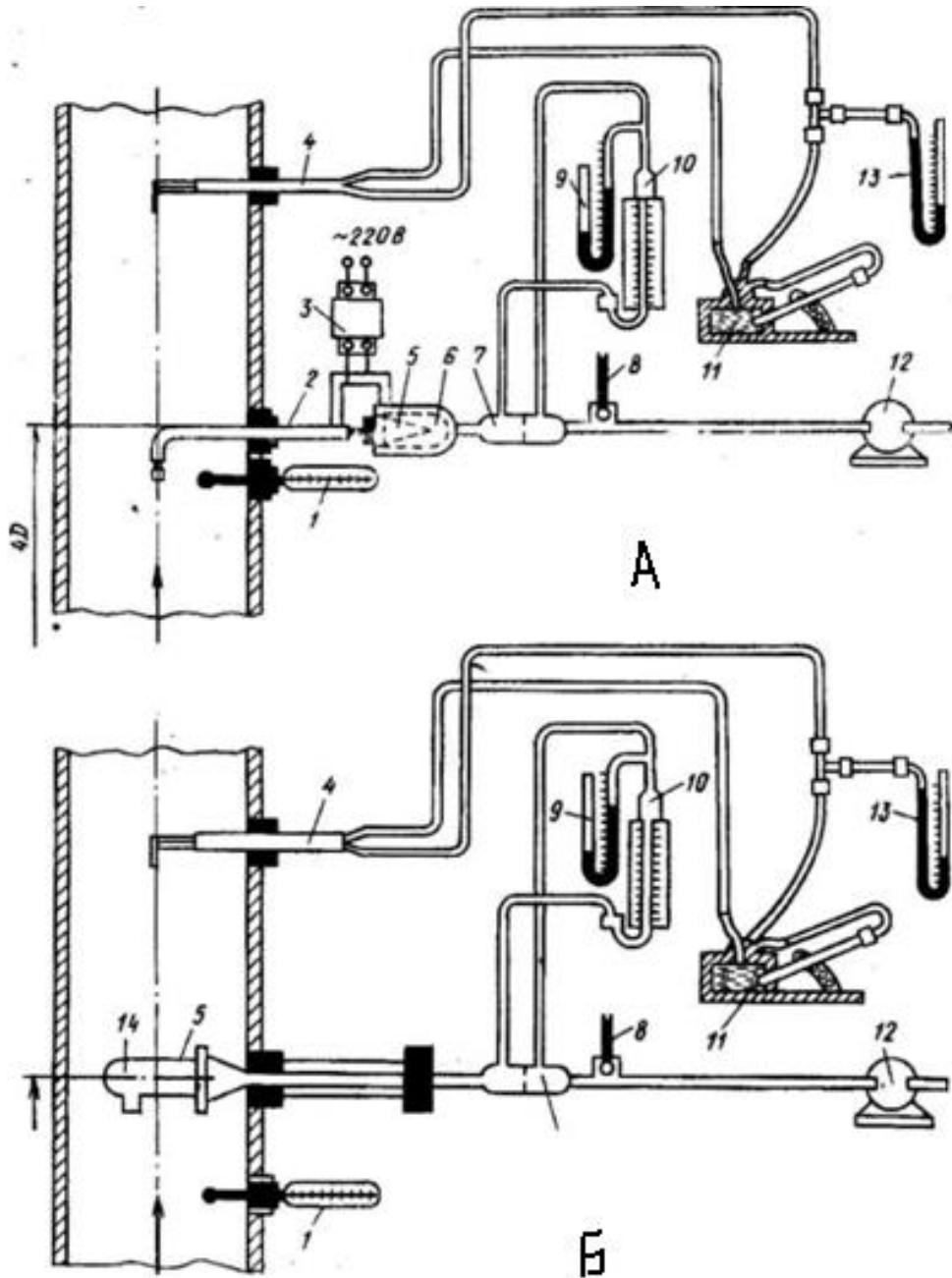
Эффективность работы циклона может определяться расчетным и экспериментальным методами. Порядок определения эффективности циклона расчетным методом изложен в методических указаниях к проведению практического занятия №4 по теме "Расчет одиночного циклона". При определении эффективности экспериментальным методом определяется содержание пыли на входе $C_{\text{вх}}$, мг/м³, и на выходе $C_{\text{вых}}$, мг/м³, из циклона. Если пренебречь подсосом воздуха, то эффективность можно определить по формуле:

$$\eta = 1 - C_{\text{вых}}/C_{\text{вх}} \quad (4)$$

Для определения запыленности отобранную пробу газа пропускают через пылеотделительное устройство. В зависимости от места размещения пылеотделительного устройства различают два метода определения запыленности:

1. *Метод внутренней фильтрации* (рис.4.1). При внутренней фильтрации осаждение пыли из отбираемого объема газа осуществляется в пылеотделительном устройстве, которое располага-

ется внутри газохода. Этот метод применяется в том случае, когда в газе содержатся агрессивные или трудно транспортируемые компоненты, например оксиды серы, смолы, липкая пыль и другие вещества, обуславливающие невозможность применения внешней фильтрации отбираемого газа.



1, 8 - термометры; 2 - заборная трубка; 3 - трансформатор; 4 - пневмометрическая трубка; 5 - фильтр; 6 - патрон; 7 - диафрагма; 9, 13 - манометры; 10 - реометр; 11 - микроманометр; 12 - воздуходувка; 14 - алонж

Рисунок 4.2 - Установки для определения запыленности газов методами внешней (А) и внутренней (Б) фильтрации

2. *Метод внешней фильтрации* (рис.4.2). При внешней фильтрации выделение пыли из отобранного объема газа производится после вывода его через газозаборную трубку из газопровода, т.е. пылеотделительное устройство находится вне газопровода. Этот метод удобнее в применении, чем метод внутренней фильтрации. При использовании же водоохлаждаемых заборных трубок его можно использовать при любой температуре исследуемого газа. Однако точность замеров запыленности методом внешней фильтрации может быть меньше по сравнению с методом внутренней фильтрации ввиду возможного осаждения пыли на внутренних стенках газозаборной трубки.

Пылеотделительное устройство должно обеспечивать улавливание пыли с эффективностью не менее 99,5%, обладать достаточной термостойкостью, стойкостью к воздействию кислот и щелочей, минимальной гигроскопичностью. Оно должно сохранять механическую прочность в условиях работы под разрежением или давлением. Масса пылеотделительного устройства должна быть минимальной. Рекомендации по выбору наиболее распространенных пылеотделительных устройств приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Характеристика наиболее распространенных пылеотделительных устройств

Тип осадителя пыли	Температура газа, °С, не более	Запыленность, г/м ³	Максимальный прирост фильтра, г
<i>Метод внутренней фильтрации</i>			
Патрон со стекловолокном	400	0,01-15,0	До 2,0
Мембранные фильтры или фильтры типа АФА	60	0,02	Не более 0,1
<i>Метод внешней фильтрации</i>			
Патрон с тканевым фильтром	350	50,0	До 80
Циклон с последующим фильтром	350	15,0	До 10
Мембранные фильтры или фильтры типа АФА	60	0,02	Не более 0,1

Перед проведением измерений предварительно определяют поле скоростей газа по измерительному сечению согласно ГОСТ 17.2.4.06.

При отсутствии крупных частиц пыли (более 10 мкм) и равномерном распределении скоростей газа по измерительному сечению (неравномерность скоростей газа не превышает 15%) отбор проб может проводиться в одной точке измерительного сечения

(обычно в центре). В остальных случаях необходимо отбирать пробы в тех же точках, где определяют скорость газа согласно ГОСТ 17.2.4.06.

Отбор проб осуществляется при фиксированном расходе газа, обеспечивающем условия изокINETИЧНОСТИ во входном сечении пылезаборного устройства, т.е. скорость газа в пробоотборной трубке должна, быть равна скорости газа в воздуховоде. Для соблюдения изокINETИЧНОСТИ используют специальные пылеотборные трубки со сменными наконечниками. Расчетный диаметр наконечников вычисляют по формуле:

$$d = \frac{24}{\sqrt{V_i}} \quad (5)$$

где V_i - скорость газа в точке измерения (отбора пробы), м/с.

Сопротивление циклона рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_{\text{ц}} = \xi_{\text{ц}} \times \frac{\rho_{\text{г}} \times v_{\text{г}}^2}{2} \quad (6)$$

где $\xi_{\text{ц}}$ - коэффициент местного сопротивления циклона.

Описание лабораторной установки (рис.4.3).

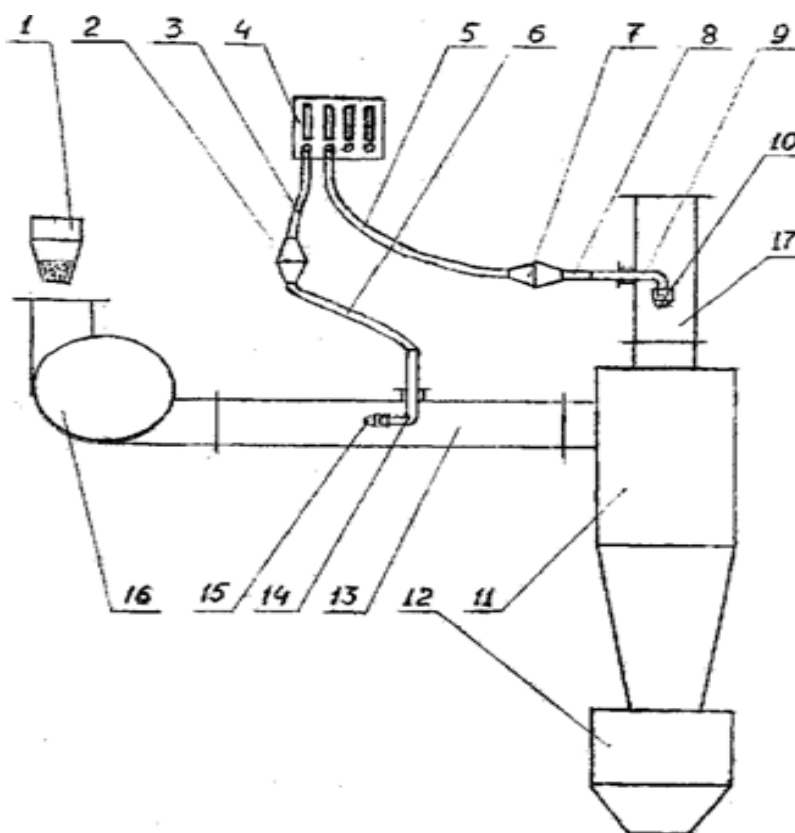


Рисунок 4.3 – Схема лабораторной установки очистки газа от пыли в циклоне

Установка очистки газа от пыли в циклоне включает циклон ЦН-15У 11, в котором тангенциально по газопроводу 13 с помощью вентилятора 16 подается запыленный воздух. Для подачи пыли в циклон используется дозатор - питатель 1. Уловленная в циклоне пыль поступает в бункер - накопитель 12, а очищенный воздух выбрасывается по газопроводу 17.

Пробы воздуха для определения запыленности до и после циклона отбирают с помощью газозаборных трубок 9 и 14 с наконечниками 10 и 15 под действием аспиратора 4. Для выделения пыли из отобранных проб воздуха служат АФА-фильтры, закрепленные в держателях 2 и 7. Для соединения пылегазозаборных трубок, держателей и аспираторы используются резиновые трубки 3, 5, 6, 8. В работе используется аспиратор типа ПУ-4Э (см. лабораторную работу №4).

Порядок проведения работы.

В процессе выполнения работы определяется эффективность очистки газов в циклоне ЦН - 15 У - 250.

1. Приготовить два фильтра для определения запыленности газового потока на входе в циклон и на выходе. Определить массу фильтров m_{ex1} и m_{ex2} .

2. Настроить аспиратор на скорость отбора пробы $v_{отб}$, л/мин и вставить газозаборные трубки с наконечниками в центр газотока навстречу газовому потоку. Привести в действие питатель и включить вентилятор.

3. Отбор проб осуществлять в течении времени τ , мин, после чего определить массы запыленных фильтров m_{ex1} и m_{ex2} .

4. Определить объем отобранных проб, приведенных к нормальным условиям:

$$V = v_{отб} \cdot \tau \cdot 10^3 \cdot \frac{273}{273+t_p} \cdot \frac{B-P_{вх}}{101361,5}, \text{ м}^3 \quad (7)$$

где t_p - температура газа, °С; B - барометрическое давление, Па.

5. Рассчитывают запыленность газа на входе в циклон C_{ex} мг/м³ и на выходе из циклона $C_{вых}$ мг/м³:

$$C = m/V \quad (8)$$

6. Определить эффективность циклона по формуле (4). Результаты занести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Таблица результатов измерений эффективности пылеулавливания в циклоне

Место отбора пробы	Масса фильтра до отбора проб, m_1	Масса фильтра после отбора пробы, m_2	Скорость отбора проб $v_{отб}$, л/мин	Время отбора проб τ , мин	Объем отобранных проб, приведенных к нормальным условиям V , м ³	Запыленность газа C , мг/м ³	Эффективность пылеулавливания в циклоне η
Во входном сечении							
В выходном сечении							

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

1. Цель работы.
2. Краткое описание лабораторной установки.
3. Таблица результатов измерений эффективности пылеулавливания в циклоне.
4. Расчет эффективности пылеулавливания.
5. Вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 4.1. Устройство и принцип работы циклона.
- 4.2. Факторы, влияющие на степень пылеулавливания в циклоне.
- 4.3. Метод внутренней фильтрации.
- 4.4. Метод внешней фильтрации.
- 4.5. Обеспечение изокINETИЧНОСТИ при отборе пробы воздуха.
- 4.6. Экспериментальное определение эффективности пылеулавливания в циклоне.
- 4.7. Описание лабораторной установки.
- 4.8. Порядок выполнения работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 2 "Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
2. Русанов, А.А. Справочник по пыле- и золоулавливанию [Текст]: справочник / Русанов, А.А.; под ред. А.А. Русанова. - М.: Энергия, 1982. - 296 с.
3. Кривошеин Д.А. Системы защиты среды обитания [Текст]: учебное пособие / В.П. Дмитренко, Н.В Федотова. – М.: Академия, 2014. В 2 т. Т. 1. - 352 с.
4. Швыдкий В.С. Теоретические основы очистки газов[Текст]: справочник. М.: Теплотехник, 2004. - 502 с.
5. Техника и технология защиты воздушной среды [Текст]: учебное пособие для вузов / В.В. Юшин, В.М. Попов, П.П.Кукин и др. – М.: Высшая школа, 2008. – 391 с.
6. Руководство по контролю вредных веществ в воздухе рабочей зоны [Текст]: справочник / С.И.Муравьева, М.И.Буковский, Е.К. Прохорова и др. М.: Химия, 1991.
7. Перегуд Е.А., Горелик Д.О. Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы [Текст] : справочник. Л.: Химия, 1981. – 312 с.
8. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Контроль пылеулавливающих установок [Текст] : справочник - М.: Металлургия, 1973. – 265 с.