

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к проведению лабораторных работ по дисциплине
«Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов»**

Донецк
2021

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к проведению лабораторных работ по дисциплине
«Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов»**

для обучающихся по направлению подготовки
20.03.01 «Техносферная безопасность»
профиль «Инженерная защита окружающей среды»
всех форм обучения

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
прикладной экологии и охраны
окружающей среды
Протокол № 6 от 21.01.2021 г.

Утверждено
на заседании учебно-издательского
совета ДОННТУ
Протокол № 2 от 24.02.2021 г.

Донецк
2021

УДК 504.7(076)+66.074(076)

М54

Составители:

Ганнова Юлия Николаевна – кандидат химических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;

Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

М54 **Методические рекомендации к проведению лабораторных работ по дисциплине «Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов»** : для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» профиль «Инженерная защита окружающей среды» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», каф. прикладной экологии и охраны окружающей среды; сост.: Ю.Н. Ганнова, С.В. Горбатко. — Донецк : ДОННТУ, 2021. – Систем. требования Acrobat Reader. – Загл. с титул. экрана.

Методические рекомендации разработаны с целью оказания помощи обучающимся в усвоении теоретического материала и получении практических навыков по дисциплине «Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов», которые содержат рекомендации к выполнению лабораторных работ.

УДК 504.7(076)+66.074(076)

Содержание

Введение	5
Лабораторная работа 1 Измерение и контроль параметров газовой смеси: температура, атмосферное давление, влажность.....	6
Лабораторная работа 2 Приборы для измерения скорости в напорном трубопроводе (газоходе).....	9
Лабораторная работа 3 Измерение расхода жидкости или газа при помощи дифференциальной напорной трубки.....	12
Лабораторная работа 4. Приборы для измерения расхода жидкостей и газов, основанные на постоянном перепаде давления.....	15
Лабораторная работа 5. Приборы для измерения расхода жидкостей и газов использующие дроссельные устройства.....	18
Лабораторная работа 6. Измерение расхода жидкости при помощи трубы Вентури.....	23
Лабораторная работа 7. Паспортизация вентиляционной установки.....	26
Лабораторная работа 8. Измерение запыленности газа.....	30
Перечень рекомендованной литературы.....	34

ВВЕДЕНИЕ

Изучение дисциплины «Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов» базируется на знаниях, полученных при изучении неорганической и органической химии, физической химии, процессов и аппаратов химических производств, техники экологически чистых производств и др.

В свою очередь дисциплина «Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов» является основой для изучения ряда дисциплин процесса подготовки, закладывает основы для выполнения курсового проектирования и выполнения квалификационной работы.

Целью изучения дисциплины «Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых выбросов» является изучение основных теоретических и практических аспектов защиты атмосферы от промышленных загрязнений.

Основные задачи изучения дисциплины:

- систематизация и обобщение существующих сведений по защите воздушного бассейна от вредных выбросов;
- изучение физико-химических основ, технологических схем и оборудования для инженерных средств защиты атмосферы от загрязнения вредными веществами на примере самых важных промышленных процессов химических производств.

Лабораторная работа 1

Измерение и контроль параметров газовой смеси: температура, атмосферное давление, влажность

Цель работы: ознакомиться с приборами и принципами измерения температуры, атмосферного давления, влажности.

Общие положения

При проведении различных технологических процессов, связанных с очисткой различных газов, а также с движением воздуха в системах вентиляции и кондиционирования, необходимо знать параметры: атмосферное давление при котором происходят те или иные процессы, влажность и влагосодержание, температуру в начале и в конце воздухопровода, плотность и т.д. Выше указанные параметры могут оставаться постоянными в течение времени или изменяться, процесс очистки может быть периодическим или непрерывным, и исходя из этого могут использоваться различные приборы, методы измерения, контроля и приборы.

Термометры - приборы для измерения температуры посредством контакта с исследуемой средой. Действие термометров основано на различных физических явлениях, зависящих от температуры: на тепловом расширении жидкостей, газов и твердых тел, изменении температуры, давления газа или насыщенных паров, электрического сопротивления, термоЭДС и др.

Наиболее распространены жидкостные термометры, манометрические термометры, термометры сопротивления, метеорологические, глубоководные, биметаллические и многие другие.

Методы измерения температуры различны для разных диапазонов измеряемых температур, они зависят от условий измерений и требуемой точности. Их можно разделить на две основные группы методов: контактные и бесконтактные.

Для регистрации измерений температуры воздуха в наземных условиях используется термограф метеорологический. В зависимости от конструкции корпуса приборы выпускаются в двух вариантах: суточные и недельные.

Барометр - приборы для измерения атмосферного давления. В жидкостном барометре атмосферное давление измеряется по высоте столба ртути в заполненной сверху трубке, опущенной открытым концом в сосуд с ртутью. Ртутные барометры - наиболее точные приборы, ими оборудованы метеорологические станции и по ним проверяется работа других видов барометров - анероида и гипсотермометра.

Гигрометр - прибор для определения влажности воздуха. Наиболее распространены психрометр и волосной гигрометр, измеряющий относительную влажность воздуха по изменению длины обезжиренного человеческого волоса в зависимости от влажности воздуха.

Психрометр - прибор для измерения температуры и влажности воздуха, состоящий из двух термометров, у одного из которых ("смоченного") резервуар обернут смоченным батистом. Температура определяется по "сухому"

термометру, по разности показаний сухого и смоченного термометров определяют относительную влажность воздуха по психрометрической таблице.

Перед измерением относительной влажности измерьте скорость аспирации перед гигрометром. Измерение скорости аспирации необходимо проводить с помощью анемометра крыльчаток У5.

Питатель всегда должен быть заполнен дистиллированной водой. Воду дополняйте заблаговременно, лучше всего сразу после проведения измерений или не менее чем за 30 минут до начала измерения влажности.

Необходимое оборудование

и контрольно-измерительные приборы

Термометр комнатный

Термометр для измерения наружного воздуха

Психрометр

Гигрометр психрометрический типа ВИТ

Барометр-анероид

Анемометр

Порядок выполнения работы

При проведении лабораторной работы отметить и записать текущее время.

Снять показания всех приборов, указанных в работе.

3. Расшифровать на диаграммной ленте термографа зависимость $t=f(\tau)$.

4. По диаграммной ленте обработать изменение температуры воздуха в течение суток.

5. Обработать показания психрометра и гигрометра.

6. Все обработанные материалы занести в журнал работы.

Обработка опытных данных

Определить температуру наружного воздуха и комнатной температуры.

Рассчитать температуру Кельвина наружного воздуха.

Перевести атмосферное давление в режиме текущего времени в мм рт. ст.

Рассчитать относительную влажность наружного воздуха и в помещении лаборатории.

Рассчитать плотность воздуха при измеренных параметрах.

Рассчитать плотность газовой смеси (по указанию преподавателя) при измеренных параметрах.

Журнал работы

Измеряемая среда	Температура наружного воздуха	Температура воздуха в помещении	Средняя температура воздуха в течение суток	Атмосферное давление	Атмосферное давление	Относительная влажность воздуха	Плотность воздуха	Время текущее
Размерность	$t_n, 0C$	$t_{in}, 0C$	$t_{ср}, 0C$	$P_{атм},$ мм рт. ст.	$P_{атм},$ н/м ²	$\phi_{в}, \%$	$\rho_{в},$ кг/м ³	$\tau, ч$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Контрольные вопросы

1. Какие единицы измерения температуры существуют?
2. Укажите соотношение между градусами Цельсия и Кельвина.
3. Способы измерения температуры. Какие термометры используются для измерения газовой смеси?
4. Что такое термограф?
5. Что такое атмосферное давление?
6. От каких физических параметров зависит плотность воздуха?
7. От чего зависит атмосферное давление, каким прибором оно измеряется?
8. Единицы измерения атмосферного давления и соотношения между ними.
9. Что такое относительная влажность воздуха?
10. В каких единицах измеряется влажность воздуха?
11. Какими приборами измеряется влажность воздуха?
12. Как можно определить плотность газовой смеси?

Лабораторная работа 2

Приборы для измерения скорости в напорном трубопроводе (газоходе)

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом работы приборов для измерения скорости в напорном воздуховоде.

Общие положения

Зная закон распределения скоростей в поперечном сечении трубопровода (воздуховода), можно измерением местной скорости - в точке этого сечения определить среднюю по сечению скорость, и расход. Такой способ измерения расхода является одной из реализаций метода "скорость-площадь". Расходомеры, основанные на этом способе, просты по устройству, дешевы, вызывают малые потери напора, их можно устанавливать на трубопроводе без перерыва подачи жидкости и газа. Измерять расход можно при расположении датчика скорости на оси трубы или в какой-либо характерной точке поперечного сечения, там, например, где местная скорость равна средней по сечению скорости.

Напорные преобразователи состоят из датчика напорной трубки (трубки скоростного напора) и дифманометра. Напорная трубка измеряет скорость потока в выбранной точке поперечного сечения по скоростному напору.

Напорные трубки расходомеров размещают в сечениях трубопроводов, имеющих неискаженное поле скоростей, то есть достаточно удаленных от фасонных частей или арматуры.

Простейшая напорная трубка - трубка скоростного напора (трубка Пито) схематично показана на рисунке 2.1.

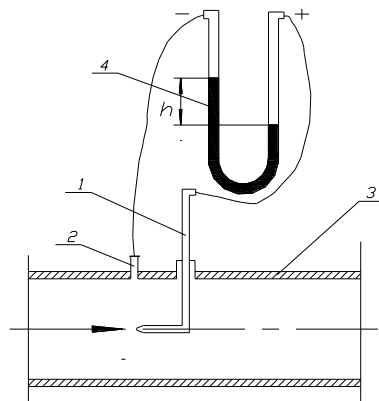


Рисунок 2.1 Схема установки трубки скоростного напора с жидкостным дифманометром: 1 - трубка полного давления; 2 - трубка статического давления; 3 - воздуховод; 4 – дифманометр

Конец трубки, изогнутый в направлении, противоположном направлению скорости, воспринимает полное давление, а отверстие в стенке трубы - статическое давление $P_{ст}$.

Скорость определяется по показанию дифманометра, подключенного к трубке:

$$U = \sqrt{2 \cdot \frac{(P - P_{ст})}{\rho}} K'_{тр} = \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \cdot K_{тр},$$

где $K_{тр}$ - коэффициент напорной трубки ($K_{тр} = 2 K'_{тр}$).

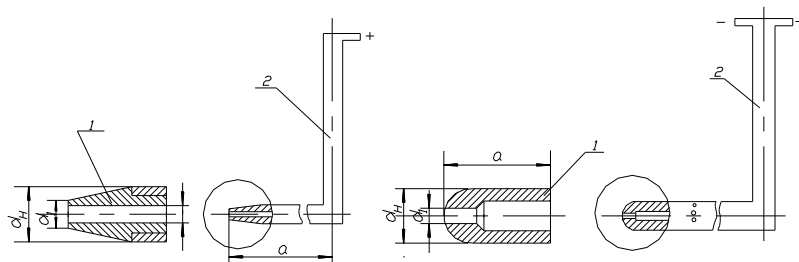


Рисунок 2.2. Схемы напорных трубок:

а - скоростного напора; б – дифференциальная: 1 – оголовок; 2 – штанга

При измерении перепада давления с помощью трубчатых жидкостных дифманометров необходимо подставить в вышеуказанное уравнение вместо ΔP высоту столба рабочей жидкости дифманометра.

После объединения постоянных членов уравнения имеем:

$$U = C_n \sqrt{K_{тр}} \cdot \frac{h}{\rho_r},$$

где $C_n = \sqrt{\rho_p g}$ - постоянный множитель, зависящий от плотности рабочей жидкости дифманометра и принятых единиц измерения.

$K_{тр} = 1$ для дифференциальных напорных трубок.

Трубка скоростного напора. Рекомендована ГОСТ 8.361-79, ее основные размеры указаны на рисунке 2.2 а.

При этом $d_1 \leq 0,4d_n$; $d_n \leq 20$ мм; $a = 14d_n$;

$R_1 = 3d_n$; $d_0 = 0,13d_n$.

Достоинством такой напорной трубки является простота изготовления (для трубопроводов больших диаметров она может быть выполнена из обычной трубы $d = 15...20$ мм).

К недостаткам трубки относятся: неудобство ее введения в трубопровод (особенно без прекращения подачи по нему жидкости или газа) и необходимость сверления двух отверстий в трубопроводе. Кроме того, недостатком является то, что статическое давление определяется не в точке измерения полного давления, а у стенки трубы. Поэтому трубка скоростного напора пригодна лишь для

измерения скоростей в прямолинейных участках труб с неискаженным полем скоростей.

Дифференциальная напорная трубка (рисунок 2.2 б) состоит из оголовка и штанги. Полное давление воспринимает центральное отверстие оголовка, а статическое - отверстия на цилиндрической поверхности оголовка. У таких труб $K_{тр} = 1$, а погрешность его не более $\pm 1\%$.

Достоинством дифференциальной трубки по сравнению с трубкой скоростного напора является возможность отбора проб практически в одной точке полного и статического давлений. Недостатками является неудобство введения в трубопровод и высокое значение коэффициента $K_{тр}$.

Основные размеры дифференциальной трубки должны удовлетворять следующим соотношениям: $d_0 = 0,1 \dots 0,3 d_n$; $d_n \leq 15$ мм; $a = 8 d_n$; $b = 8 \dots 12 d_n$; $R_1 = 0 \dots 3 d_n$.

К достоинствам расходомеров с напорными трубками и промышленными дифманометрами относятся: простота и невысокая стоимость напорной трубки; возможность установки расходомера в действующих трубопроводах без перерыва подачи по ним жидкости; возможность градуировки расходомера путем перемещения датчика по диаметру трубы; незначительные потери напора.

Недостатками расходомеров с напорными трубками являются: невозможность их применения при средних скоростях менее $0,6$ м/с; небольшой диапазон измерений, равный диапазону измерений промышленных дифманометров; неприменимость для измерения расхода жидкости, имеющей значительное количество взвешенных частиц, которые могут засорить отверстия трубки.

Контрольные вопросы

1. При помощи каких приборов можно измерить скорость в напорном воздухопроводе?
2. От чего зависит плотность воздуха?
3. Как можно определить плотность газовой смеси?
4. Как определяется расход воздуха?
5. Недостатки трубки скоростного напора.
6. Для чего применяется дифманометр?
7. Можно ли использовать другие приборы для измерения давления?

Лабораторная работа 3

Измерение расхода жидкости или газа при помощи дифференциальной напорной трубки

Цель работы: экспериментально измерить расход воздуха в воздуховоде при помощи дифференциальной напорной трубки.

Общие положения

Схема установки для измерения расхода воздуха представлена на рисунке 3.1.

Вентилятор 1 всасывает воздух и нагнетает его в воздуховод 2. Дифференциальная напорная трубка 4 расположена по диаметру воздуховода и свободно перемещается в радиальном направлении воздуховода. Конец трубки, изогнутый в направлении, противоположном направлению скорости воздуха, воспринимает полное давление, а отверстия на цилиндрической поверхности оголовка - статическое давление. Перемещая дифференциальную напорную трубку поперек потока воздуха, можно определить скорость в различных точках воздуховода.

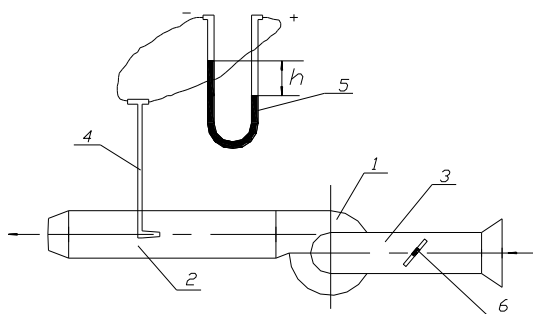


Рисунок 3.1. Схема установки для измерения расхода воздуха: 1 - вентилятор; 2 – воздуховод, нагнетающий; 3 – воздуховод, всасывающий; 4 – дифференциальная напорная трубка; 5 – дифманометр; 6 – шибер

Порядок выполнения работы

Включить установку.

Установить напорную трубку 4 в отверстие воздуховода.

Для измерения расхода воздуха необходимо напорную трубку установить по оси воздуховода.

Измерить разность давлений по дифференциальному манометру.

Расход воздуха определить по максимальному значению скорости, т.е. скорости на оси воздуховода.

Обработка опытных данных

Вычислить плотность воздуха при заданных условиях проведения опытов:

$$\rho_r = \rho_0 \frac{B}{B_0} \cdot \frac{T_0}{T} = 0,00349 \cdot \frac{B}{T_0},$$

где ρ_0 - плотность воздуха при нормальных условиях;
 $B_0=101400$ н/м²; $T_0=273$ °К; $\rho_0=1,2$ кг/м³;
 B - барометрическое давление при проведении опытов;
 T - температура воздуха, °К.

2. Рассчитать скорость в точках замера на оси воздуховода:

$$U = \sqrt{\frac{2h\gamma_{ж}}{\rho_v}}, \text{ м/с,}$$

где h - показание дифференциального манометра, м;
 ρ_v - плотность воздуха в условиях проведения опыта, кг/м³;
 $\gamma_{ж}$ – удельный вес рабочей жидкости.

Рассчитать площадь сечения воздуховода:

$$\omega = \frac{\pi \times d^2}{4}, \text{ м}^2,$$

где d - диаметр воздуховода, м.

Рассчитать расход воздуха:

$$Q = U \times \omega, \text{ м}^3/\text{с.}$$

Журнал работы

№ п/п	Давление атмосферное	Температура воздуха	Плотность воздуха	Диаметр воздуховода	Давление динамическое	Скорость воздуха	Расход воздуха
Размерность	Ратм., мм.рт.ст.	Т, К	ρ_v , кг/м ³	d, м	h, мм.вод.ст.	и, м/с	Q, м ³ /с
1	2	3	4	5	6	7	8

Контрольные вопросы

1. При помощи каких приборов можно измерить скорость в напорном воздуховоде?
2. Что такое трубка скоростного напора?
3. Что такое дифференциальная напорная трубка?

4. Преимущества и недостатки дифференциальной напорной трубки?
5. От чего зависит плотность воздуха?
6. Как можно определить плотность газовой смеси?
7. Как определяется расход воздуха?
8. Недостатки трубки скоростного напора.
9. Для чего применяется дифманометр?
10. Можно ли использовать другие приборы для измерения давления?

Лабораторная работа 4

Приборы для измерения расхода жидкостей и газов, основанные на постоянном перепаде давления

Цель работы: Ознакомиться с устройством и принципом работы приборов для измерения расхода жидкостей и газов, основанных на постоянном перепаде давления.

Общие положения

Ротаметры относятся к группе расходомеров постоянного перепада давления. Их действие основано на изменении проходного сечения потока и высоты положения чувствительного элемента (поплавок, клапана) в зависимости от расхода протекающей среды. Чувствительный элемент находится в состоянии равновесия под действием гидродинамического напора и силы тяжести, при этом перепад давления по обе стороны элемента остается постоянным. Ротаметры широко распространены во многих областях промышленности благодаря их преимуществам: простота конструкции, отсутствие трущихся деталей, надежность действия, возможность изготовления деталей из материалов, устойчивых к агрессивным средам, высокая чувствительность, постоянство относительной погрешности на всем диапазоне шкалы, сравнительно широкий диапазон измерений (1:5, 1:6). Ротаметры составляют около 10% всех расходомеров для напорных потоков. По конструктивному исполнению ротаметры подразделяются на стеклянные с местным отсчетом (РМ) и металлические с электрическим (РЭ) или пневматическим (РП) выходным сигналом.

Основной измерительной частью ротаметров является ротаметрическая пара (поплавок - коническая трубка, поплавок - сопло и т.п.). Различают три типа ротаметрических пар:

- измерительный конус - поплавок (стеклянные и металлические ротаметры), рисунок 4.1;
- диафрагма - поплавок (металлические ротаметры);
- поплавок кольцевой формы, размещенный между внешним и внутренним конусами (металлические ротаметры для измерения расходов до 100 м³/ч).

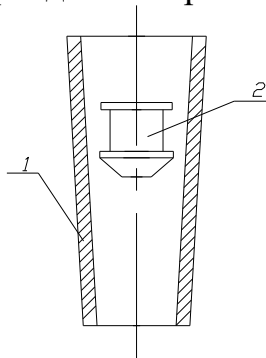


Рисунок 4.1 Схема ротаметра:
1 - трубка стеклянная коническая; 2 - поплавок

Теоретические основы измерения расхода жидкости и газов при помощи ротаметров

Уравнения движения поплавка в ротаметре выводятся из условий его обтекания потоком жидкости или газа. Предполагается, что поток одномерный, начало координат помещается в плоскости теоретического нуля ротаметра, расход жидкости постоянен.

Применительно к ротаметрической паре первого (основного) типа можно утверждать, что на поплавок действуют:

- сила тяжести

$$G = gW(\rho - \rho_i) = g(m - W\rho_i),$$

где W - объем поплавка;

ρ и ρ_i - плотность жидкости и материала поплавка соответственно;

m - масса поплавка;

- сила гидродинамического напора

$$P = C_x \cdot \frac{\rho_i (u - u_x)^2}{2} \cdot \frac{\pi d^2}{4},$$

где u - средняя скорость потока в кольцевом зазоре;

u_x - скорость поплавка относительно неподвижной трубки (начало отсчета);

C_x - коэффициент сопротивления поплавка.

Средняя скорость в кольцевом зазоре составляет:

$$u = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{\pi(dx \cdot tg\alpha + x^2 \cdot tg^2\alpha)},$$

где ω - площадь кольцевого зазора.

При установившемся движении воды $x=h$, $P-G=0$, тогда

$$C_x = \rho_i d^2 Q^2 [8\pi(hd \cdot tg\alpha + h^2 \cdot tg^2\alpha)^2].$$

Путем преобразований из выше рассмотренного уравнения можно получить формулу для вычисления расхода:

$$Q = \frac{(d \cdot h \cdot tg\alpha + h^2 \cdot tg^2\alpha)}{d \sqrt{\frac{8\pi G}{C_x \rho_i}}}.$$

Ротаметры относятся к расходомерам, требующим их обязательной градуировки на образцовой расходомерной установке. На практике ротаметрами измеряют расход жидкостей или газов со свойствами, отличающимися от

свойств воды или воздуха, а также при иных температурах и давлениях. Поэтому для получения расхода с заданной погрешностью необходимо провести градуировку на измеряемой среде, что часто бывает сложно, а иногда и невозможно (например, токсичные среды), либо провести градуировку на средах-заменителях, имитирующих вязкость и плотность измеряемой среды. Имитирующими жидкостями могут служить водоглицериновые смеси, масла и т.п. Но применение имитирующих жидкостей не всегда возможно, так как подобрать по плотности и вязкости среду бывает трудно, а отличие в этих параметрах приводит к дополнительной погрешности. Для получения показаний ротаметров на различных средах часто прибегают к пересчету заводских градуировочных характеристик. Один из них основан на законах гидродинамического подобия и использования ряда безразмерных параметров.

В России выпускают общепромышленные ротаметры типов РМ, РЭ и РП. Ротаметры типа РМ выпускаются со стеклянной трубкой. Поплавок у ротаметров типа РМ в зависимости от пределов измерения изготавливают из нержавеющей стали, анодированного алюминия, эбонита или титана.

На рисунке 4.2 показаны схемы установки ротаметров в системах промышленных трубопроводов.

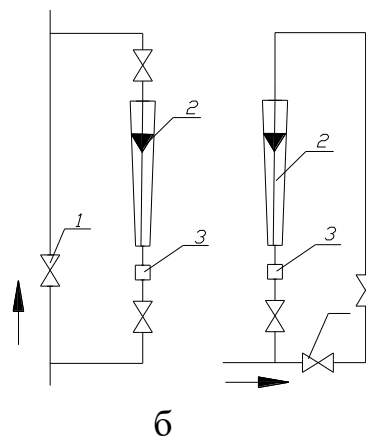


Рисунок 4.2. Схемы установки ротаметров в системах промышленных трубопроводов: а - стеклянного на вертикальном трубопроводе; б – то же на горизонтальном трубопроводе: 1 - вентиль; 2 - ротаметр; 3 - вставка центрирующая

Контрольные вопросы

1. Как определяется расход воздуха?
2. Недостатки трубки скоростного напора.
3. Для чего применяется дифманометр?
4. Можно ли использовать другие приборы для измерения давления?

Лабораторная работа 5

Приборы для измерения расхода жидкостей и газов, использующие дроссельные устройства

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом работы приборов для измерения расхода жидкостей и газов, использующих дроссельные устройства.

Общие положения

В расходомерах переменного перепада давления используется зависимость перепада, создаваемого неподвижным устройством, установленным в трубопроводе, от расхода жидкости или газа, протекающих по трубопроводу. Основным типом таких расходомеров являются расходомеры с сужающими устройствами. Эти расходомеры состоят из трех элементов: сужающего устройства, дифференциального манометра для измерения перепада давления (или двух пьезометров) и соединительных линий с запорной и предохранительной арматурой.

В качестве дроссельных (сужающих) устройств применяют: диафрагмы, сопла Вентури и трубы Вентури.

Мерная диафрагма (рис. 5.1). Представляет собой тонкий диск с отверстием круглого сечения, центр которого расположен на оси трубы.

Мерное сопло (рис. 5.2). Является насадкой, имеющей плавно закругленный вход и цилиндрический выход. Дифманометры мерных сопел (а также диафрагм) присоединяют к трубопроводу через кольцевые камеры 2, соединенные с внутренним пространством трубопровода отверстиями, равномерно расположенными по окружности, или двумя каналами 3.

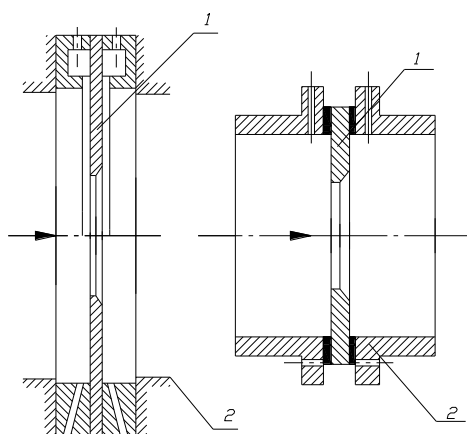


Рисунок 5.1 Схема мерной диафрагмы: 1 – диск; 2 – труба

Труба Вентури (рис. 5.3) имеет постепенно сужающееся сечение, которое затем расширяется до первоначального размера, поэтому, потеря давления в ней меньше, чем в диафрагмах или соплах. Вместе с тем длина трубы Вентури очень велика по сравнению с толщиной диафрагмы или сопла, которые могут быть установлены между фланцами трубопровода.

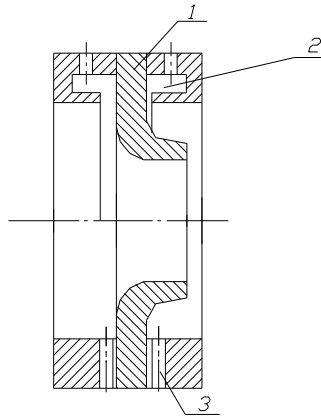


Рисунок 5.2 Схема мерного сопла: 1 – насадок; 2 – кольцевые камеры; 3 – каналы

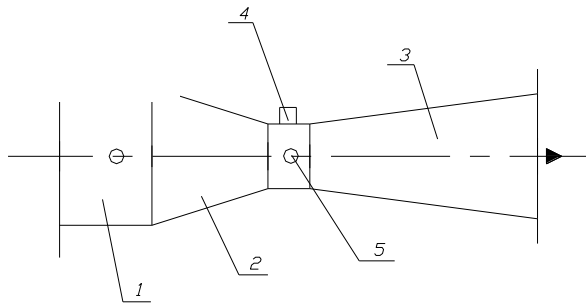


Рисунок 5.3 Схема трубы Вентури: 1 – входной патрубок; 2 – конус входной; 3 – конус выходной; 4 – камера кольцевая; 5 – отверстия отбора давления

В трубе Вентури и в сопле площадь сечения сжатой струи $w_2 = \frac{\pi d_1^2}{4}$ равна площади самого отверстия: $w_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$. ($w_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$) площадь сечения трубопровода, на котором установлен дроссельный прибор). В диафрагме $\omega_2 < \omega_0$. Считая трубопровод горизонтальным, запишем уравнение Бернулли для двух сечений, перепад давлений между которыми измеряется дифференциальным манометром.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g},$$

откуда

$$\frac{U_2^2}{2g} - \frac{U_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\rho g}, \quad \frac{P_1 - P_2}{\rho g} = h,$$

где h – перепад давлений, измеряемый дифференциальным манометром (или двумя пьезометрами) в метрах водного столба.

Пользуясь уравнением неразрывности потока, запишем:

$$Q = U_1 \cdot \varpi_1 = U_2 \cdot \varpi_2.$$

Выразим скорость U_1 в сечении трубы через скорость U_2 в узком сечении струи за диафрагмой, в котором замеряется давление P_2 :

$$U_1 = U_2 \frac{\varpi_2}{\varpi_1} = U_2 \frac{d_2^2}{d_1^2}.$$

Объемный расход жидкости Q в сечении ϖ_0 отверстия диафрагмы и в трубопроводе будет равен:

$$Q = \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4}} \sqrt{h}.$$

Обозначим постоянное выражение через C_1 :

$$C_1 = \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4}},$$

$$Q = C_1 \sqrt{h}$$

где C_1 – первая постоянная расходомера Вентури.

Диаметр дроссельного устройства обычно в 3-4 раза меньше диаметра трубопровода, поэтому величиной (d_2/d_1) в уравнении для определения расхода можно в первом приближении пренебречь и находить расход жидкости по уравнению:

$$Q = \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{2gh},$$

Вышеуказанные формулы для измерения расхода жидкости или газа получены для идеального потока, а для реальной жидкости необходимо ввести коэффициент расхода ($\mu < 1$), учитывающий, что скорость в сечении меньше скорости из-за отмеченного выше сужения струи за диафрагмой ($\varpi_0 > \varpi_2$):

$$Q = \mu \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{2gh}.$$

Массовый расход, кг/с, равен произведению объемного расхода на плотность жидкости:

$$G = \rho \cdot Q, \text{ кг/с.}$$

Точность измерения с помощью сопел и сопел Вентури выше, чем с помощью диафрагм, кроме того, наибольшие потери напора вызывают

диафрагмы, а наименьшие - трубы Вентури. Для трубопроводов больших диаметров применяют трубы Вентури. Дешевле и проще всего в изготовлении диафрагмы, особенно бескамерные. Наиболее дорогими из дроссельных устройств являются длинные сопла и трубы Вентури.

Диафрагмы изготавливают из сталей, не корродирующих в воде, но их можно применять только при измерении жидкости, которая несет абразивные частицы, например, на очистных водопроводных сооружениях, при измерении расхода производственных сточных вод некоторых видов.

Трубы и сопла Вентури изготавливают из сталей обычных марок или из чугуна, они используются для измерения расхода загрязненной жидкости (сточных вод). Недостаток изделий – громоздкость.

Реометры. По принципу действия реометры относятся к микрорасходомерам переменного перепада давления. Конструктивно реометр совмещает в одном приборе сужающее устройство и дифманометр (рис. 5.4). Газ, протекающий по трубке 1, проходит через сопротивления 2 в виде капилляра или диафрагмы. Перепад давления, образующийся при протекании газа, измеряется однотрубным дифманометром 4. Камера 3 служит для предотвращения выброса рабочей жидкости при случайном возрастании перепада давления.

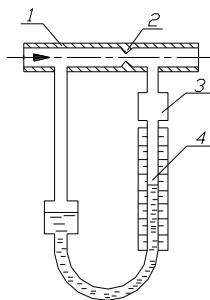


Рисунок 5.4 Схема реометра: 1 - трубка; 2 - сопротивление (диафрагма); 3 - камера; 4 – дифманометр

Реометры изготавливаются двух типов:

капиллярные (РКС), пределы измерений 0...0,06; 0...0,1; 0...0,25 ... 0...1 л/мин;

диафрагменные (РДС), пределы измерений 0...4; 0...6; 0...10; 0...16; 0...25; 0...40; 0...60; 0...1000; 0...160 л/мин.

На заводе-изготовителе реометры градуируют по воздуху.

При использовании реометров типа РДС справедливо уравнение расхода через сужающее устройство:

$$Q = \alpha \omega \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}},$$

Реометры предназначены для измерения микрорасходов газа и применяются, главным образом, при проведении лабораторных работ.

Контрольные вопросы

1. Устройство трубы Вентури, мерной диафрагмы, мерного сопла.

Принцип работы.

2. Что такое коэффициент расхода?

3. Каким образом на установке достигается стабильность показаний пьезометров во времени?

4. На чем основан принцип измерения расхода воды в трубе Вентури?

Лабораторная работа 6 Измерение расхода жидкости при помощи трубы Вентури

Цель работы: измерить расход воды в напорном трубопроводе, к которому присоединена труба Вентури (рис. 6.1). Определить коэффициент расхода жидкости.

Общие положения

Вода из водопровода при помощи вентиля 1 подается в напорный бак 2 с постоянным сливом, благодаря чему в системе наблюдается установившееся движение воды. Уровень воды в баке определяют по водомерному стеклу 3. Из бака 2 вода при равномерном движении поступает в трубу Вентури 6, в сечениях I и II которой присоединены пьезометры 5. Диаметры в сечениях $d_1=15$ мм, $d_2=4$ мм. Расход жидкости при опытах определяется объемным способом.

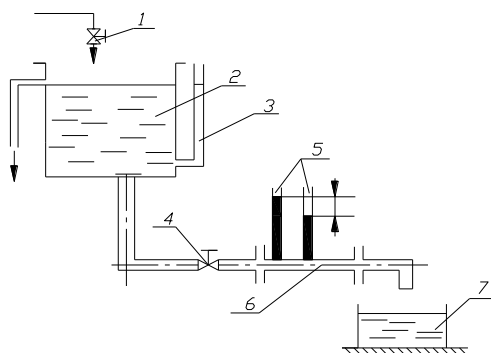


Рисунок 6.1 Установка для измерения расхода жидкости при помощи трубы Вентури: 1 - вентиль подачи воды; 2 - бак напорный; 3 - стекло водомерное; 4 - вентиль запорный; 5 - пьезометры; 6 - труба Вентури; 7 - бак мерный

Порядок выполнения работы

Открыть вентиль 1 подачи воды. Наполнить бак 2 водой.

Привести установку в рабочее состояние, открыв вентиль 4.

Вентилем 4 установить минимальный расход воды и, следовательно, минимальное показание пьезометров 5.

Измерить расход воды и перепад давлений h .

Увеличивая расход воды до максимального, не менее 6-8 раз, снять показания пьезометров и измерить соответствующий расход воды.

Определить температуру воды и рассчитать коэффициент кинематической вязкости.

Журнал работы

№ п/п	Температура воды,	Показание пьезометров		Разность показаний пьезометров	Объем мерного бака	Время заполнения мерного бака	Расход воды	Скорость воды	Постоянная трубы Вентури	Площадь сечения	
Размерность	t, °C	p ₁ /γ, м	p ₂ /γ, м	h, м	W, м ³	τ, с	Q, м ³ /с	U ₁ , м/с	C ₁ , м ^{2.5} /с	Ф ₁ , м ²	Ф ₂ , м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Обработка опытных данных

Определить действительный расход воды, измеренный объемным способом, проходящей через трубопровод:

$$Q_{\partial} = \frac{W}{\tau}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Рассчитать скорость воды в сечении I:

$$U_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2}, \text{ м/с}.$$

3. Определить разность показаний пьезометров:

$$h = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}, \text{ м}.$$

4. Найти площадь живых сечений I и II:

$$\omega_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}; \quad \omega_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}.$$

5. Рассчитать первую постоянную трубы Вентури:

$$C_1 = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4}}$$

6. Определить расход воды, проходящей через трубу Вентури:

$$Q = C_1 \sqrt{h}$$

7. Определить коэффициент расхода воды:

$$\mu = \frac{Q_0}{Q}$$

8. Построить график зависимости расхода $Q=f(h)$ от разности давлений пьезометров.

Контрольные вопросы

1. Устройство трубы Вентури, мерной диафрагмы, мерного сопла. Принцип работы.
2. Что такое коэффициент расхода?
3. Каким образом на установке достигается стабильность показаний пьезометров во времени?
4. На чем основан принцип измерения расхода воды в трубе Вентури?
5. При каких условиях должны проводиться измерения расхода воды?
6. Практическое использование трубы Вентури.
7. Как определяется действительный расход воды?
8. Из каких материалов изготавливают трубы Вентури?
9. В каких случаях используются мерные сопла и диафрагмы?

Лабораторная работа 7 Паспортизация вентиляционной установки

Цель работы: определение параметров вентилятора при различных режимах работы, построение напорной характеристики.

Общие положения

Контроль эффективности работы газопылеулавливающих аппаратов является обязательным условием для соблюдения технологического регламента промышленной установки. Газопылеулавливающей установкой считается одиночный аппарат или группа аппаратов, служащих для улавливания (обезвреживания) вредных компонентов из отходящих газов или вентиляционных выбросов, с механизмами, оборудованием, коммуникациями и приборами, к ним относящимися.

К газопылеулавливающим установкам относятся:

аппараты электрической очистки газов (сухие, мокрые, комбинированные);

тканевые, волокнистые и пористые фильтры (мешочные, рамные, рукавные с обратной струйной и импульсной продувкой);

сухие инерционные пылеуловители (циклоны одиночные, групповые и батарейные, жалюзийные пылеуловители, акустические коагуляторы, ротоклоны и др.);

мокрые пылеуловители (полые и насадочные скрубберы, мокрые циклоны, ротоклоны, пенные аппараты, барбатеры, скоростные турбулентные аппараты;

установки химической очистки газов (абсорбционные, адсорбционные, рекуперационные и переработки уловленных продуктов);

печи и установки дезодорации дурнопахнущих веществ, каталитического разложения и дожигания отходящих газов.

Все газопылеулавливающие и вентиляционные установки, осуществляющие различные технологические выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, снабжены разнообразными типами вентиляторов (радиальные, осевые, дымососы и т.д.) При определении параметров (скорости, объема) выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для расчета проекта предельно-допустимых выбросов необходимо знать действительные технические характеристики вентиляторов (дымососов), а именно производительность, полное, статическое и динамическое давления, число оборотов рабочего колеса, мощность, кроме того, построить напорную характеристику.

Все вышеуказанные параметры вентиляторов можно получить экспериментальным путем, т.е. проведя паспортизацию вентиляционной установки.

Необходимая аппаратура и контрольно-измерительные приборы

Вентиляционная лабораторная установка

Трубка дифференциальная

Манометр дифференциальный (микроманометр)

Тахометр

Линейка

Термометр спиртовой

Барометр

При работе вентиляционной установки воздух (дымовые газы) проходит через всасывающий воздуховод 3, шибер 6, вентилятор 1, напорный воздуховод 2 и выбрасывается в атмосферу. При помощи шибера 6 можно регулировать производительность вентилятора 1. Трубка дифференциальная 4 и дифференциальный манометр 5 позволяют измерить полный напор H , создаваемый вентилятором (рис. 7.1).

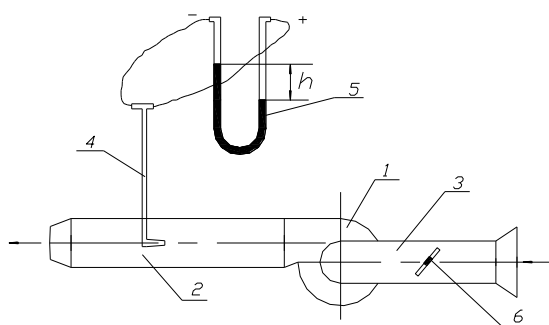


Рисунок 7.1 Схема вентиляционной установки: 1 - вентилятор центробежный; 2 - воздуховод (газоход) напорный; 3 - воздуховод, всасывающий; 4 - трубка дифференциальная напорная; 5 - манометр дифференциальный (микроманометр); 6 - шибер

Порядок выполнения работы

Включить вентилятор (дымосос) 1.

Открыть шибер 6.

При помощи тахометра измерить число оборотов рабочего колеса вентилятора.

4. При полностью открытом шибере 6 снять показания дифференциального манометра при условии установки дифференциальной напорной трубки на геометрической оси напорного воздуховода:

измерить $P_{\text{дин}}$;

измерить $P_{\text{пол}}$.

5. Прикрывая шибер 6 постепенно до полного закрытия повторить измерения 5-6 раз.

6. Измерить температуру воздуха в помещении (или наружного).

7. Измерить атмосферное давление.

8. Измерить диаметр воздуховода.

Обработка опытных данных

1. Рассчитать плотность воздуха:

$$\rho_{\text{в}} = 0,00349 \frac{B}{T},$$

где B – атмосферное давление, Н/м²;

T- температура воздуха, К.

2. Определить скорость на геометрической оси воздуховода:

$$U = \sqrt{\frac{2P_{\text{дин(ос)}}}{\rho_{\text{в}}}} = \sqrt{\frac{2h_{\gamma_{\text{ж}}}}{\rho_{\text{в}}}}, \text{ м/с.}$$

3. Определить производительность вентилятора:

$$Q = U \cdot F, \text{ м}^3/\text{с},$$

где F - площадь поперечного сечения воздуховода:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ м}^2.$$

4. Рассчитать P_{пол.} и напор H.

5. Определить полезную мощность вентилятора:

$$N_n = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot Q \cdot H, \text{ Вт.}$$

6. Построить напорную характеристику вентилятора H=f(Q)

Работа центробежного вентилятора характеризуется напором H, производительностью Q, потребляемой и полезной мощностями N и N_n, коэффициентом полезного действия η.

Полезная мощность: $N_n = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot Q \cdot H, \text{ Вт.}$

Коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{N_n}{N}.$$

Потребляемая мощность:

$$N = \frac{\rho_{\text{в}} \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta}, \text{ Вт.}$$

Обычно все величины, характеризующие работу вентилятора H , N_p , η , выражают в виде зависимости от производительности Q . Характеристика центробежного вентилятора представлена на рисунке 7.2.

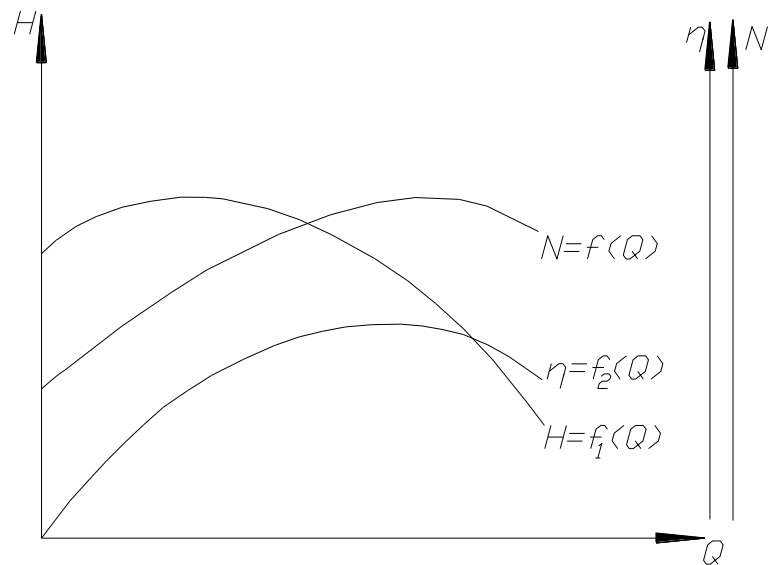


Рисунок 7.2 Характеристика центробежного вентилятора

Журнал работы

№ п/п	Марка вентилятора	Число оборотов рабочего колеса	Давление динамическое	Давление полное	Средняя скорость в воздуховоде	Подача вентилятора	Мощность на валу электродвигателя	Мощность вентилятора	Плотность воздуха	Температура воздуха	Атмосферное давление
Размерность		n, об/с	$P_{дин}$, Н/м ²	$P_{пол}$ кгс/м ²	U , м/с	Q , м ³ /с	N , Вт	N_p , Вт	ρ_v кг/м ³	T , К	$P_{ат}$ м.Н/м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Контрольные вопросы

1. Как определяется плотность воздуха, от чего зависит?
2. Как определяется плотность газовой смеси?
3. Какие вы знаете характеристики вентилятора?

4. Нарисуйте технологическую схему очистки дымовых газов котельной.
5. Что такое паспортизация вентиляционной установки?
6. При помощи каких приборов можно определить скорость в газоходе?
7. Где и в каких случаях используются вентиляционные установки?

Лабораторная работа 8 Измерение запыленности газа

Цель работы: Ознакомиться с устройством и принципом работы установки для замеров запыленности газа

Общие положения

Методика рассчитана на определение как большой, так и малой запыленности. Данный метод является универсальным, применяется к наибольшему числу случаев, встречающихся в практике. Для производства замеров в газоходе прорезают два отверстия: диаметром 36 мм, для замеров скорости, и диаметром 20 мм, для замеров температуры и разряжения; к местам прорезей приворачиваются пробки.

Замеры запыленности газа производят в тех же точках, что и замеры скоростей. Определение запыленности газа можно производить фильтрацией газа, либо вне газохода, либо внутри него.

Преимуществом метода внешней фильтрации являются простота, быстрота получения пробы, легкое достижение герметичности. Метод внутренней фильтрации следует применять при работе с агрессивными и влажными газами.

Для фильтрации используют бумажные гильзы, склеенные из обычной фильтровальной бумаги, или цилиндрические стеклянные трубки, набитые стеклянной ватой и асбестовым волокном, прокаленным при температуре 400°C.

Перед употреблением бумажные гильзы высушивают в сушильном шкафу при температуре 80°C в течение 20-30 минут, после чего выдерживают длительное время (не менее 3 суток) на воздухе. Перед взвешиванием фильтры выдерживают в весовой комнате в течение суток.

Параллельно с взвешиванием рабочих фильтров через каждые 10 штук взвешивают контрольный фильтр. После запыления фильтры вновь выдерживают в весовой комнате в течение суток, а затем взвешивают вместе с контрольными. В значение массы запыленного фильтра вводится поправка, учитывающая изменение массы запыленного фильтра.

Стеклянные трубки доводят до постоянного веса до и после опыта.

После проведения нескольких опытов заборную трубку следует прочищать, при этом массу собранной пыли относят к массе всей уловленной пыли за соответствующее число опытов.

Заборная трубка вставляется в газоход через патрубок на пробке. К свободному концу трубки присоединяется фильтрующий патрон. При работе с влажными газами заборную трубку и фильтрующий патрон снабжают электрообогревателем. Патрон соединен с диафрагмой реометра, от которого отходит тройник к ртутному манометру. Температура газа у реометра измеряется с помощью термометра. Отсос газа производится аспиратором (воздуходувкой).

При фильтрации внутри газохода применяют фильтровальные патроны НИИОгаза, представляющие собой стеклянные пробирки с припаянным носиком. Патрон набивается стекловатой и закрывается тампоном из прокаленного асбестового волокна. После асбестового тампона вставляется сетка из нержавеющей стали.

Стеклянный патрон герметично закрепляется в специальном патронодержателе, который заканчивается длинной трубкой диаметром 8-10 мм.

Расход определяют по формуле:

$$Q = 0,19 \cdot d_n^2 \sqrt{h_{\text{дин}}} \cdot \sqrt{\frac{(B + P_2)(273 + t_2)}{(B + P_p)(273 + t_p)}}, \text{ л/мин,}$$

где d_n – диаметр заборного отверстия носика;

P_2 – давление или разряжение в газоходе, мм рт.ст.;

P_p – разряжение газа у реометра, мм рт.ст.;

t_2 – температура газа в газоходе, оС;

t_p – температура газа у реометра, оС.

Для приведения газа, пропущенного через реометр, к нормальным условиям следует подсчитать значение давлений и температур в газоходе и у реометра (л/мин) для каждого анализа в отдельности по следующей формуле:

$$Q_o = Q \cdot \tau \sqrt{\frac{j_k (B + P_o) \cdot 273}{j_{\text{ов}} \cdot 760 (273 + t_p)}}, \text{ л/мин,}$$

где τ – длительность опыта, мин;

j_k – удельный вес воздуха при калибровке реометра, кгс/м³;

$j_{\text{ов}}$ – удельный вес влажного газа при нормальных условиях, кгс/м³.

Запыленность газа определяется по формуле:

$$C = \frac{1000 \cdot G}{Q_o}, \text{ г/м}^3.$$

Необходимое оборудование и контрольно-измерительные приборы

Лабораторная установка

Аспиратор

Воздухозаборная трубка

Бумажные фильтры

Патрон фильтровальный

Аналитические весы

Пинцет

Разновесы

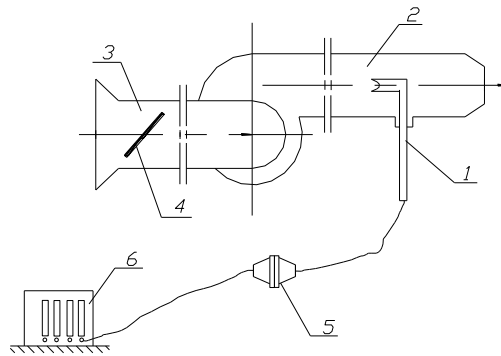


Рисунок 8.1 Схема установки для определения запыленности газа: 1 - воздухозаборная трубка; 2 – воздуховод, нагнетающий; 3 – воздуховод, всасывающий; 4 – шибер; 5 - патрон фильтровальный; 6 – аспиратор

Порядок выполнения работы

Проверить на герметичность установку для определения запыленности.
 Определить количество опытов.

Подготовить и взвесить бумажные фильтры.

Заборную трубку (или фильтровальный патрон) через штуцер вставить в газопровод наконечником навстречу движения газа и присоединить к остальным приборам, согласно схеме, резиновыми шлангами.

В момент начала опыта заборную трубку (фильтровальный патрон) повернуть отверстием носика навстречу потоку газа.

Журнал работы

№ п/п	Температура газа в газопроводе	Атмосферное давление	Диаметр заборного отверстия	Расход газа в газопроводе	Время проведения опыта	Плотность воздуха	Запыленность газа	Масса пыли, осаждаемой на фильтре	Масса фильтра	Диаметр фильтра	Расход газа, проходящего через фильтр
Размерность	t , К	$P_{атм.}$, Н/м ²	d_n , мм	Q , м ³ /с	τ , мин	ρ_v , кг/м ³	C , мг/м ³	G , мг	M , мг	D , мм	$Q_{ф.}$, м ³ /мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Контрольные вопросы

1. Принцип работы пылезборной трубки.
2. Для чего используется воздуходувка?
3. Можно ли использовать вместо воздуходувки пылесос?
4. Как работает aspirator, для чего используется в установке aspirator.
5. Какое давление будет показывать манометр присоединенный к aspiratorу?
6. Что такое аспирация?
7. Для чего используется многоканальность в aspirаторах?
8. Какую функцию в установке выполняет шибер.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сухая очистка газов от пыли. Примеры расчета аппаратов : учебное пособие / Ключенкова М.И., Суркова Л.В., Кузнецова Н.А., ред. Беренгартен. — Саратов : Вузовское образование, 2016. — 38 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/52013.html>
2. Белоусов В.В. Теория процессов и аппаратов очистки газов : учебно-методическое пособие / Белоусов В.В.. — Москва : Издательский Дом МИСиС, 2008. — 64 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/97900.html>
3. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: аппараты очистки газов : учебное пособие / Ю.М. Кочнов [и др.]. — Москва : Издательский Дом МИСиС, 2001. — 161 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/97890.html>
4. Мухутдинов А.А. Физико-химические методы очистки газов / Мухутдинов А.А., Степанова С.В., Сольяшинова О.А.. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2012. — 138 с. — ISBN 978-5-7882-1254-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/64032.html>

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к проведению лабораторных работ по дисциплине
«Системы защиты биосферы. Технология очистки газовых
выбросов»

Составители:

Ганнова Юлия Николаевна - кандидат химических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;

Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

Ответственный за выпуск:

Шаповалов Валерий Васильевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная экология и охрана окружающей среды» ГОУВПО «ДОННТУ».