

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

Методические указания к лабораторным работам
(лабораторному практикуму) по метрологии

Составитель Ю. В. Минин



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2013

Волгоград
ВолгГАСУ
2013

УДК 681.12(076.5)
ББК 34.97я73
М545

М545 **Методы** и приборы контроля среды обитания [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам (лабораторному практикуму) по метрологии / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. Ю. В. Минин. — Электронные текстовые и графические данные (600 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2013. — Учебное электронное издание комбинированного распространения: 1 CD-диск. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; 2-скоростной дисковод CD-ROM; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены методики выполнения лабораторных работ по дисциплине «Метрология».

Для студентов специальности «Пожарная безопасность» 3-го курса очной и 5-го курса заочной форм обучения.

Для удобства работы с изданием рекомендуется пользоваться функцией Bookmarks (Закладки) в боковом меню программы Adobe Reader.

УДК 681.12(076.5)
ББК 34.97я73

Нелегальное использование данного продукта запрещено

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа 1. Определение дисперсного состава пыли с помощью импактора модели КИ-4.....	4
Лабораторная работа 2. Спектрофотометрический метод.....	10
Лабораторная работа 3. Измерение скорости ветра анемометром.....	15
Лабораторная работа 4. Измерение атмосферного давления барометром.....	18
Лабораторная работа 5. Исследование параметров пылегазового потока в воздуховоде и помещении.....	20
Лабораторная работа 6. Определение расхода воздуха в воздуховодах.....	26

Лабораторная работа 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛИ С ПОМОЩЬЮ ИМПАКТОРА МОДЕЛИ КИ-4

Цель работы — определить дисперсный состав частиц в газовых потоках.

Содержание работы

Предварительно изучают устройство и принцип работы импактора (струйного сепаратора). Затем с помощью импактора модели КИ-4 анализируют дисперсный состав пыли.

Теоретическая часть

Устройство и принцип работы импактора (струйного сепаратора).

Импактор позволяет разделять частицы на фракции без предварительного выведения из газовой фазы. При оценке технологических качеств порошка в числе основных остаются традиционные методы дисперсного анализа: микроскопия, ситовый анализ, седиментометрия, воздушная сепарация. Принцип действия каскадных импакторов основан на инерционной сепарации частиц при пропускании пробы газа через ряд последовательно установленных сопел или сопловых решеток с расположенными под ними осадительными поверхностями (подложками). Сопло или сопловая решетка и расположенная ниже подложка составляют каскад прибора. Диаметры одинаковых сопел или диаметры и число сопел в сопловых решетках подбираются так, чтобы размеры частиц, которые могут осесть в данном каскаде, были меньше размеров частиц, способных осесть в предыдущем.

Для улавливания наиболее мелких частиц на выходе из последнего каскада инерционного осаждения устанавливается фильтр-каскад осаждения методом фильтрации. В результате анализируемые частицы оказываются разделенными на фракции, число которых равно общему числу каскадов импактора, включая фильтр.

На рис. 1 показано устройство импактора КИ-4, который конструктивно выполнен в виде отдельных дисков 2, заключенных в одном корпусе 1. В каждом диске имеются сопла 3 и выемка 4, заполненная смазкой или фильтровальным материалом. При этом сопла принадлежат последующей ступени, а выемка — предыдущей. Таким образом, число дисков, из которых собран импактор, отвечает числу ступеней в нем.

Сопла одних ступеней располагаются в центре диска, сопла других — на его периферии. Диски с центральным и периферийным расположением сопел чередуются с таким расчетом, чтобы смазка или подложка в выемке располагалась напротив сопла.

На выходе последней ступени устанавливается фильтр 6, заполненный стекловолокном или другим фильтровальным материалом.

Сопла каждой ступени выполнены в виде нескольких отверстий в дисках. Герметичность импактора достигается сжатием фторопластовых прокладок 5 при помощи накидной гайки 7 и установочных болтов 8.

Пылегазовый поток поступает в импактор через входной патрубок 9, в который ввертывается сменный пылегазовый наконечник 10. Под действием инерционных сил пылевые частицы отделяются от потока при обтекании последней плоской подложки и оседают на ней.

Эффективность различных ступеней импактора принято определять диаметром частиц d_{50} .

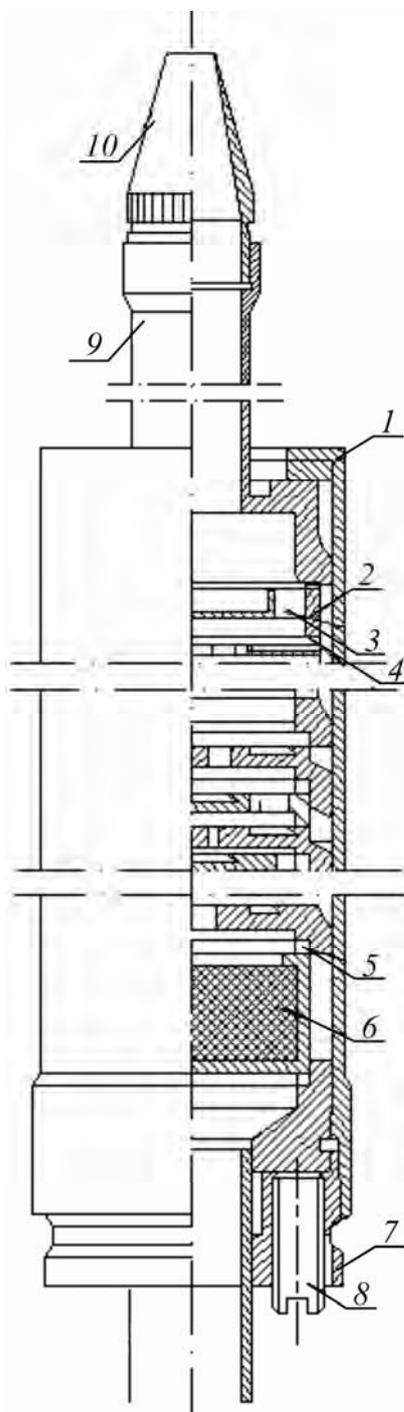


Рис. 1. Схема импактора модели КИ-4: 1 — корпус; 2 — диски; 3 — сопла; 4 — выемка; 5 — фторопластовые прокладки; 6 — фильтр; 7 — накидная гайка; 8 — установочные болты; 9 — входной патрубок; 10 — сменный пылегазовый наконечник

Установку собирают по схеме, представленной на рис. 2.

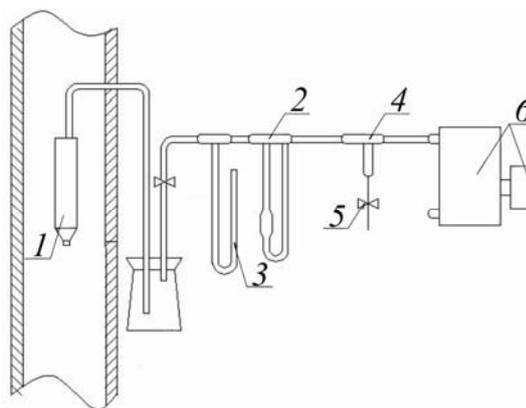


Рис. 2. Отбор пробы воздуха из воздуховода с помощью импактора: 1 — отборное устройство; 2 — реометр; 3 — стеклянный манометр; 4 — байпасная трубка; 5 — зажим; 6 — воздуходувки

Состав и приготовление смазки для заполнения выемок ступеней импактора. При работе с импактором (струйным сепаратором) для удержания частиц на поверхностях внутри углублений применяют специальную смазку, состоящую из твердой и жидкой фаз. Твердая фаза придает смазке густоту, необходимую для того, чтобы она не разбрызгивалась под действием газовой струи, скорость которой достигает 100 м/с на выходе из последнего сопла.

Жидкая фаза обеспечивает удержание оседающих на поверхности частиц за счет их смачивания благодаря диффузии из слоя смазки в нарастающий слой пыли. Так как скорость диффузии должна быть выше скорости нарастания слоя, применимость прибора ограничивается весовой концентрацией пыли в газах примерно $1...7 \text{ г/м}^3$ в зависимости от плотности пыли.

Рекомендуется следующий состав смазки:

при температуре газов до $60 \text{ }^\circ\text{C}$ вазелиновое масло — 2 части; газовая сажа — 1 часть;

при температуре газов $60...100 \text{ }^\circ\text{C}$ масло МС-20 — 1 часть; корунд М7 (М14) — 3,5 части.

Вазелиновое масло предварительно выдерживают в сушильном шкафу при $70...80 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение $1...1,5 \text{ ч}$. После этого масло смешивают с твердой фазой и тщательно растирают до получения однородной массы. Смазка готова к употреблению через $3...4 \text{ ч}$ после смешивания.

Качество смазки проверяют, продувая через импактор чистый воздух. Если на выходе после ступени смазка не разбрызгивается при расходе $15...20 \text{ л/мин}$, то ее консистенцию можно считать нормальной, а смазку — готовой к употреблению.

При отборе проб пыли из газового потока с температурой выше $100 \text{ }^\circ\text{C}$ вместо смазки в выемки укладывают фильтровальную термостойкую ткань — оксалон, базальтовый картон и др.

Рекомендуется принимать следующие диаметры пылезаборного наконечника при рабочем расходе газа через прибор 10 л/мин :

Скорость газа, м/с	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Диаметр наконечника, мм	7	6,5	6	5,5	5	5	4,5	4,5	4	4	4

Методика проведения эксперимента и обработка результатов

Правила техники безопасности. Необходимо соблюдать осторожность при вводе импактора в воздухопровод и выводе его из воздухопровода.

Последовательность проведения эксперимента. Перед началом отбора пробы заборный наконечник направляют навстречу газовому потоку. Включают воздуходувки 6 (см. рис. 2), открывают зажим 5 и поджатием байпасной трубки 4 зажимом 5 устанавливают с помощью реометра 2 перепад давления на приборе.

По истечении времени отбора пробы полностью открывают зажим 5. Вынимают импактор из газохода, располагают его пылезаборным наконечником вверх и затем выключают побудитель тяги 6.

Отворачивают накидную гайку и снимают корпус импактора. Диски и фильтр взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0001 г. Результаты взвешиваний заносят в протокол. Форма протокола приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Протокол анализа результатов взвешиваний

Номер ступени	Масса ступени, г		Привес пылей			Тарировочный d_{50} , мкм ($\rho_n = 1,0 \text{ г/м}^3$)	Действительный d_{50} , мкм ($\rho_n = 1,35 \text{ г/м}^3$)
	с пылью	чистых	на каждой ступени, г	суммарный			
				г	%		
1.1							
1.2							
2.1							
2.2							
3.1							
3.2							
4.1							
4.2							
5.1							
5.2							
6.1							
6.2							
7.1							
7.2							
Фильтр							

По результатам взвешиваний ступеней и фильтра до и после опыта определяют массу пыли, осевшей на каждой ступени и фильтре. Принимая за 100 % суммарную массу осадка на всех ступенях и фильтре, рассчитывают интегральную кривую накопления осадка в процентах по ступеням. Полученная величина для каждой ступени указывает процентное содержание частиц диаметром более d_{50} данной ступени.

Значения d_{50} ступеней импактора берутся из табл. 2. Значения d_{50} приведены для частиц с плотностью материала 1 г/см^3 . Если материал частиц исследуемой пыли имеет другую плотность ρ_g , г/см^3 , то значения диаметров d_{50} ,

взятые из табл. 2, следует разделить на коэффициент $\sqrt{\rho_g}$, т. е. в данном случае стоксовский диаметр частиц $d_{50}^{\text{действ}}$ будет

$$d_{50}^{\text{действ}} = \frac{d_{50i}}{\sqrt{\rho_g}}.$$

За окончательный результат анализа принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений. Расхождение между результатами двух определений не должно превышать 3 %.

Т а б л и ц а 2

Значение d_{50} ступеней импактора

Номер ступени	d_{50} , мкм	$D_{\text{сопла}}$, мм	Число отверстий
1.1	8,0	5,3	8
1.2		8,0	1
2.1	5,1	4,0	7
2.2		6,0	1
3.1	4,0	3,0	8
3.2		5,0	1
4.1	3,1	2,6	7
4.2		2,8	3
5.1	2,5	2,0	8
5.2		1,4	6
6.1	1,6	1,4	6
6.2		1,4	4
7.1	1,0	1,0	8
7.2		8,0	1

Пример обработки результатов анализа угольной пыли с плотностью материала частиц $1,35 \text{ г/см}^3$, выполненного импактором (модель КИ-4), приведен в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Протокол анализа результатов взвешиваний угольной пыли с помощью материала частиц $1,35 \text{ г/см}^3$

Номер ступени	Масса ступени, г		Привес пылей			Тарировочный d_{50} , мкм ($\rho_n = 1,0 \text{ г/м}^3$)	Действительный d_{50} , мкм ($\rho_n = 1,35 \text{ г/м}^3$)
	с пылью	чистых	на каждой ступени, г	суммарный			
				г	%		
1.1	25,1684	25,1433	0,0251	0,0251	17,5	8,0	6,9
1.2							
2.1	27,4870	27,4536	0,0334	0,0585	40,8	5,1	4,4
2.2							

Номер ступени	Масса ступени, г		Привес пылей			Тарировочный d_{50} , мкм ($\rho_n = 1,0 \text{ г/м}^3$)	Действительный d_{50} , мкм ($\rho_n = 1,35 \text{ г/м}^3$)
	с пылью	чистых	на каждой ступени, г	суммарный			
				г	%		
3.1 3.2	27,6169	27,5891	0,0278	0,0863	60,2	4,0	3,45
4.1 4.2	28,5764	28,5561	0,0203	0,1066	74,4	3,1	2,65
5.1 5.2	28,3156	28,3023	0,0133	0,1199	83,7	2,5	2,15
6.1 6.2	27,8566	27,8391	0,0175	0,1374	95,9	1,6	1,4
7.1 7.2	28,1740	28,1700	0,0040	0,1414	98,7	1,0	0,9
Фильтр	16,2279	16,2260	0,0019	0,1433	100,0	—	—

Рассчитывают суммарный привес в граммах и процентах. Из табл. 2 берут значение d_{50} для соответствующей ступени и записывают в графу «Тарировочный d_{50} ».

Для определения действительного диаметра частиц найденные значения d_{50} делятся на коэффициент, равный

$$\sqrt{\rho_g} = \sqrt{1,35} = 1,162.$$

Результаты анализа помещаются в табл. 4.

Таблица 4

Фракционный состав пыли

Плотность частицы, мкм ($\rho_n = 1,35 \text{ г/м}^3$)	Содержание частиц, %, размером	
	более d_i, q	менее $d_i, (100 - q)$
6,9	17,5	82,5
4,4	40,8	59,2
3,45	60,2	39,8
2,65	74,4	25,6
2,15	83,7	16,3
1,4	95,9	4,1
0,9	98,7	1,3

Требования к оформлению отчета

Отчет о выполненной работе включает:
сформулированную цель работы;
построенную интегральную кривую накопления осадка в процентах по ступеням.

Контрольные вопросы

1. Устройство импактора.
2. Принцип работы импактора.
3. Состав и приготовление смазки.
4. Состав установки для отбора проб.

Список рекомендуемой литературы

1. Инструкция по определению дисперсного состава пыли с помощью импактора модели КИ-4.
2. Справочник по пыли и золоулавливанию / под общ. ред. А. А. Русанова. — М. : Энергия, 1975. — 296 с.

Лабораторная работа 2 СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Цель работы — изучить спектрофотометрический метод для лабораторного анализа проб воздуха на базе компенсационного фотоэлектрического колориметра КФК-2.

Содержание работы

С помощью прибора КФК-2 определяют коэффициент пропускания и оптическую плотность приготовленных жидкостных растворов.

Теоретическая часть

Назначение спектрофотометрического метода. Спектрофотометрические измерения обычно производят при помощи спектрофотометров и фотоколориметров. Колориметр фотоэлектрический компенсационный КФК-2 предназначен для измерения на отдельных участках диапазона длин волн (315...980 нм), выделяемых светофильтрами, коэффициентов пропускания и оптической плотности жидкостных растворов и твердых тел, а также определения концентрации веществ в растворах методом построения градуировочных графиков.

Кроме того, колориметр позволяет измерять коэффициенты пропускания рассеивающих взвесей, эмульсий и коллоидных растворов в проходящем свете.

Колориметр применяется на предприятиях водоснабжения, в металлургической, химической, пищевой промышленности, в сельском хозяйстве, медицине и других областях народного хозяйства.

Нормальными условиями работы колориметра являются: температура окружающей среды (20 ± 5) °С; относительная влажность воздуха 45...80 %; напряжение питания сети ($220 \pm 4,4$) В; частота напряжения питания 50 Гц.

Технические данные. Спектральный диапазон работы колориметра 315...980 нм. Весь спектральный диапазон разбит на спектральные интервалы, выделяемые с помощью светофильтров.

Пределы измерения на колориметре коэффициентов пропускания 100...1 % (оптическая плотность 0...2).

Предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности колориметра при измерении коэффициентов пропускания ± 1 %.

Предел допустимого значения среднеквадратического отклонения отдельного наблюдения 0,3 %.

Дополнительная погрешность колориметра от изменения напряжения сети на ± 22 В от номинального значения 220 В составляет не более 0,3 основной погрешности.

Дополнительная погрешность колориметра при изменении температуры окружающего воздуха 20...35 °С и 20...10 °С составляет не более 0,3 основной погрешности.

Источник излучения — лампа галогенная малогабаритная КГМН, напряжением 6,3 Вт.

Рабочая длина кювет (набор кювет № 2) составляет 50; 30; 20; 10; 5 мм.

Приемники излучения: фотоэлемент Ф-26 для работы в спектральном диапазоне 315...540 нм, фотодиод ФД-24К для работы в спектральном диапазоне 590...980 нм.

Регистрирующий прибор — микроманометр типа М1792 со шкалой, оцифрованной в коэффициентах пропускания τ и оптической плотности D .

Потребляемая мощность колориметра не более 55^{+10} Вт.

Питание колориметра производится от сети переменного тока напряжением (220 ± 22) В, частотой $(50 \pm 0,5)$ Гц.

Габаритные размеры 435 × 355 × 330 мм.

Масса 12 кг.

Время непрерывной работы 8 ч.

Устройство и работа колориметра. Функциональная схема колориметра представлена на рис. 3.

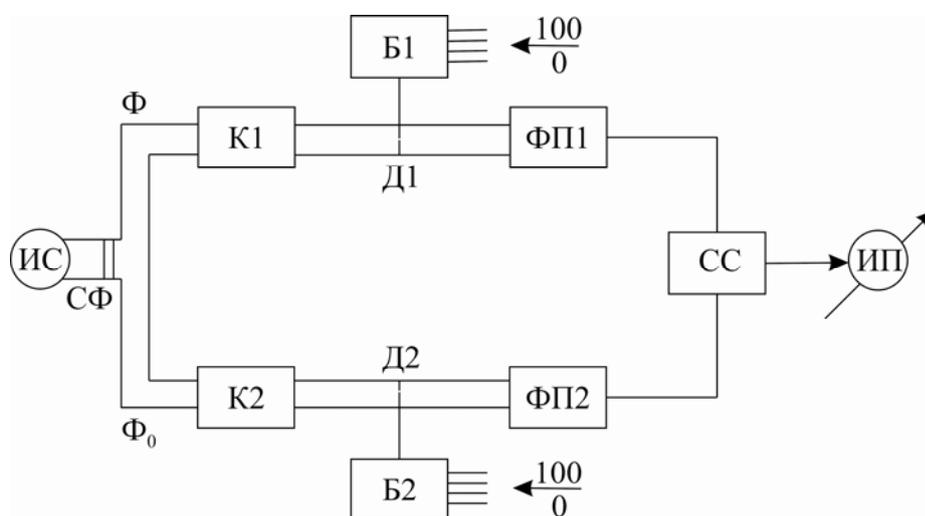


Рис. 3. Схема колориметра: ИС — источник света; СФ — светофильтр; Φ — измерительный световой поток; Φ_0 — компенсационный световой поток; К1 — кювета для раствора в измерительном канале; К2 — кювета для раствора в компенсационном канале; Д1 и Д2 — диафрагмы; Б1 и Б2 — барабаны; ФП1 — фотопреобразователь в измерительном канале; ФП2 — фотоизмеритель в компенсационном канале; СС — схема сравнения; ИП — индикаторный прибор

От общего источника света формируются два световых потока — измерительный и компенсационный. Оптические каналы, в которых формируются световые потоки, идентичны. Кроме общего светофильтра, каждый канал содержит:

кювету для раствора (в измерительном канале К1, в компенсационном — Д2); раздвижную диафрагму (в измерительном Д1, в компенсационном — Д2); фотопреобразователь (в измерительном ФП1, в компенсационном — ФП2).

С фотопреобразователей электрические сигналы поступают в электронную схему сравнения с индикаторным прибором на выходе. Результирующее напряжение ФП1 и ФП2 как функция баланса или разбаланса схемы регистрируется индикаторным прибором. На фотопреобразователи ФП1 и ФП2 одновременно поступают световые потоки: измерительный (пропущенный через исследуемый раствор) и компенсационный (полный). Определяется отношение этих потоков. При равенстве интенсивностей потоков Φ и Φ_0 схема сравнения будет сбалансирована и стрелка индикаторного прибора установится у нулевой отметки шкалы. При неравенстве потоков схема сравнения окажется разбалансированной и стрелка отклонится от нуля.

Компенсационный метод измерения предусматривает в момент отсчета обеспечение равенства интенсивностей обоих световых потоков. Это равенство достигается в приборе изменением проходного отверстия раздвижной диафрагмы. Например, если при полностью открытых диафрагмах Д1 и Д2 измерительный поток Φ , пройдя через кювету с раствором, ослабится, то для уравнивания интенсивностей обоих световых потоков необходимо уменьшить проходное отверстие диафрагмы Д2 до момента, пока интенсивности потоков Φ и Φ_0 не уравниваются (стрелка ИП установится у нулевой отметки шкалы). Размер проходного отверстия диафрагмы Д2 в этом случае является мерой светопропускания раствора. Так как диафрагмы управляются отсчетными барабанами, то коэффициент светопропускания или оптическая плотность определяются по шкале барабана Б2.

Уравнение интенсивностей световых потоков Φ и Φ_0 возможно также путем изменения проходного отверстия диафрагмы Д1 с помощью отсчетного барабана Б1.

Методика проведения эксперимента и обработка результатов

Правила техники безопасности. Необходимо соблюдать осторожность при работе с жидкостными растворами.

Измерение коэффициента пропускания. Световой пучок направляют в кювету с растворителем или контрольным раствором, по отношению к которому производится измерение.

Закрывают крышку кюветного отделения. Ручками «Чувствительность» и «Установка 100 грубо и точно» устанавливают отсчет «100» по шкале колориметра. Ручка «Чувствительность» может находиться в одном из трех положений: «1», «2», «3».

Кювету с растворителем или контрольным раствором заменяют кюветой с исследуемым раствором.

Снимают отсчет по шкале колориметра, соответствующий коэффициенту пропускания исследуемого раствора, в процентах. Для регистрирующего

прибора типа М-1792 отсчет снимают по шкале коэффициентов пропускания T в процентах или по шкале D в единицах оптической плотности.

Измерения проводят 3...5 раз, окончательное значение измеренной величины определяют как среднее арифметическое из полученных значений.

Определение концентраций вещества в растворе. При определении концентрации вещества в растворе следует соблюдать следующую последовательность в работе:

выбор светофильтра;

выбор кюветы;

построение градуировочной кривой для данного вещества;

измерение оптической плотности исследуемого раствора и определение концентрации вещества в растворе.

Выбор светофильтра. Наличие в колориметре узла светофильтров и набора кювет позволяет подобрать такое их сочетание, при котором погрешность в определении концентрации будет наименьшей.

Выбор светофильтра осуществляется в следующей последовательности.

Наливают раствор в кювету (о выборе размера кювет см. ниже) и определяют оптическую плотность для всех светофильтров.

По полученным данным строят кривую, откладывая по горизонтальной оси длины волн, соответствующие максимуму коэффициента пропускания в светофильтрах, указанного в описании колориметра, а по вертикальной оси — соответствующее значение оптической плотности раствора. Отмечают тот участок кривой, для которого выполняются следующие условия:

оптическая плотность имеет максимальную величину;

ход кривой примерно параллелен горизонтальной оси, т. е. оптическая плотность мало зависит от длины волн.

Светофильтры для работы выбирают так, чтобы длина волны, соответствующая максимуму коэффициента пропускания светофильтра, приходилась на отмеченный выше участок спектральной кривой испытуемого раствора.

Если эти условия выполняются для нескольких светофильтров, то выбирают тот из них, для которого чувствительность колориметра выше.

Выбор кюветы. Как отмечалось выше, абсолютная ошибка измерения коэффициента пропускания не превышает 1 %. Относительная ошибка определения концентрации раствора различна при работе на разных участках шкалы колориметра и достигает минимума при значении оптической плотности 0,4. Поэтому при работе на колориметре рекомендуется путем соответствующего выбора кювет работать вблизи указанного значения оптической плотности.

Предварительный выбор кювет проводят визуально, соответственно интенсивности окраски раствора. Если раствор интенсивно окрашен (темный), следует пользоваться кюветами с малой рабочей длиной. В случае слабоокрашенных растворов рекомендуется работать с кюветами с большой рабочей длиной.

В предварительно подобранную кювету наливают раствор и измеряют его оптическую плотность, вводя в ход лучей соответствующий для данного раствора светофильтр.

При измерении ряда растворов кювету заполняют раствором средней концентрации. Если полученное значение оптической плотности составляет примерно 0,3...0,5, выбирают данную кювету для работы с этим раствором. В том случае, когда это условие не выполняется, следует испробовать другую кювету. Если величина измеренной оптической плотности больше 0,5...0,6, берут кювету меньшей рабочей длины; если величина оптической плотности меньше 0,2...0,3, следует выбрать кювету с большей рабочей длиной.

Построение градуировочной кривой для данного вещества. Построение градуировочной кривой проводят следующим образом. Приготавливают ряд растворов данного вещества с известными концентрациями, охватывающими область возможных изменений концентраций этого вещества в исследуемом растворе.

Измеряют оптические плотности всех растворов и строят градуировочную кривую, откладывая по горизонтальной оси известные концентрации, а по вертикальной — соответствующие им значения оптической плотности.

Определение концентрации вещества в растворе. По градуировочной кривой в дальнейшем определяют неизвестную концентрацию вещества в исследуемых растворах. Для этого раствор наливают в ту же кювету, для которой построена градуировочная кривая, и, включив тот же светофильтр, определяют оптическую плотность раствора. Затем по градуировочной кривой находят концентрацию, соответствующую измеренному значению оптической плотности.

Примечания:

1. Часто в работе бывает удобнее пользоваться градуировочными таблицами, которые составляют по данным градуировочной кривой.
2. Градуировочную кривую следует периодически проверять.

Требования к оформлению отчета

Отчет о выполненной работе включает:
сформулированную цель работы;
краткое описание методики проведения эксперимента;
функциональную схему колориметра.

Контрольные вопросы

1. Измерение коэффициента пропускания.
2. Определение концентрации вещества в растворе.
3. Выбор светофильтра.
4. Выбор кюветы.
5. Построение градуировочной кривой.

Список рекомендуемой литературы

Бронштейн, Д. А. Современные средства измерения загрязнения атмосферы / Д. А. Бронштейн, Н. Н. Александров. — Л. : Гидрометеопиздат, 1989. — 327 с.

Лабораторная работа 3

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА АНЕМОМЕТРОМ

Цель работы — изучить принцип действия чашечного анемометра и научиться практически определять скорость воздушного потока.

Содержание работы

После изучения принципа действия чашечного анемометра по методическим указаниям включают в работу вентилятор и определяют скорость воздушного потока на входе во всасывающий воздуховод.

Теоретическая часть

Назначение анемометра. Анемометр ручной чашечный (рис. 4) предназначен для измерения на метеорологических станциях и постах скорости ветра, осредненной за определенный промежуток времени. Скорость ветра измеряется в пределах 1...20 м/с на уровне установки анемометра.

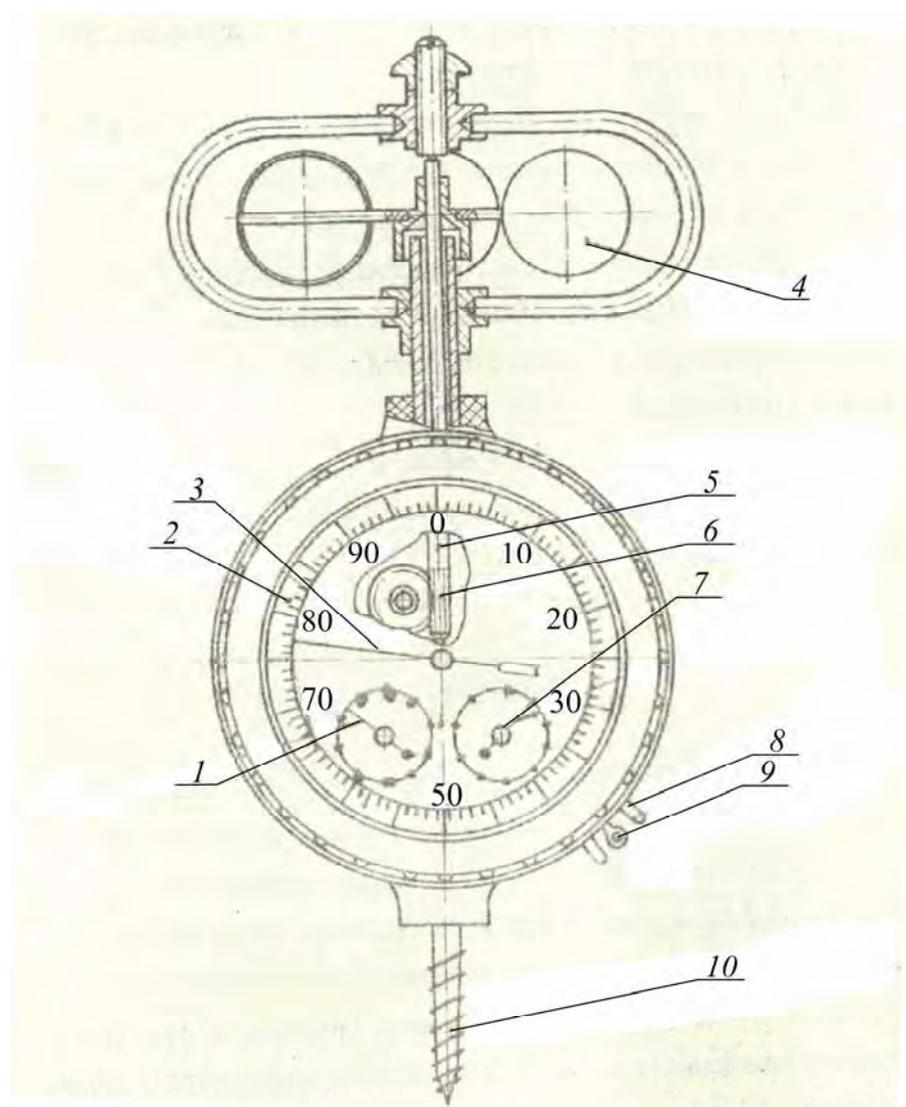


Рис. 4. Анемометр ручной чашечный (МС-13): 1 — стрелка шкалы сотен; 2 — циферблат; 3 — стрелка шкалы единиц; 4 — вертушка; 5 — ось; 6 — червяк; 7 — стрелка шкалы тысячи; 8 — ушки; 9 — арретир; 10 — винт

Описание прибора. Ветроприемником анемометра служит четырехчашечная вертушка 4, насаженная на ось 5 и вращающаяся в опорах. На нижнем конце оси 5 нарезан червяк 6, связанный с редуктором, передающий движение трем указывающим стрелкам. Циферблат 2 имеет соответствующие шкалы единиц, сотен и тысяч.

Червяк 6 через червячное колесо и триб передает движение центральному колесу, на оси которого закреплена стрелка шкалы единиц 3. Триб центрального колеса через промежуточное колесо приводит во вращение малое колесо, на ось которого насажена стрелка шкалы сотен 1. От малого колеса через второе промежуточное колесо вращение передается второму малому колесу, ось которого несет на себе стрелку шкалы тысяч 7.

Включение и выключение механизма производится арретиром 9, один конец которого находится под изогнутой пластинчатой пружинной, являющейся подпятником червячного колеса.

Для включения отчетного механизма арретир 9 поворачивают по часовой стрелке. Другой конец арретира при этом поднимает пластинчатую пружину, которая, перемещая ось колеса в осевом направлении, выводит червячное колесо из зацепления с червяком 6.

При повороте арретира против часовой стрелки червячное колесо входит в зацепление с червяком и ветроприемник анемометра соединяется с редуктором.

Механизм анемометра закреплен в корпусе из пластмассы. Нижняя часть корпуса заканчивается винтом 10, служащим для крепления анемометра на стойке или шесте.

В корпусе анемометра по обе стороны арретира 9 ввернуты ушки 8, через которые пропускается шнур для включения и выключения анемометра, поднятого на стойке (шесте). Шнур привязывается за ушко арретира 9.

Ветроприемник анемометра защищен крестовиной из проволочных дужек, служащей также для крепления верхней опоры оси ветроприемника.

Методика проведения эксперимента и обработка результатов

Правила техники безопасности. Анемометр ручной чашечный требует аккуратного и осторожного обращения. Необходимо избегать ударов и сотрясений прибора, так как цапры его осей и камневые опоры легко повреждаются. Особенно оберегать следует вертушку.

В промежутках между отдельными измерениями прибор должен храниться в своем футляре с выключенным механизмом.

Последовательность проведения эксперимента. Перед измерением скорости ветра выключают с помощью арретира передаточный механизм и записывают начальное показание счетчика (по всем трем шкалам). После этого анемометр устанавливают вертикально в измеряемом воздушном потоке; через некоторое время (10...15 с) одновременно включают механизм прибора и секундомер. Определение скорости воздушного потока производят в течение 1...2 мин. По истечении этого времени механизм прибора и секундомер выключают и записывают конечное показание счетчика и время экспо-

зиции, с. Делением разности конечного и начального показаний счетчика на время экспозиции, с, определяют число делений, приходящихся на 1 с.

Скорость ветра определяется по графику, приложенному к прибору, следующим образом: на вертикальной оси графика отыскивают число, соответствующее числу делений шкалы счетчика анемометра в секунду. От этой точки проводится горизонтальная линия до пересечения с линией графика, а из полученной точки проводится вертикальная линия до пересечения с горизонтальной осью. Точка пересечения вертикали с горизонтальной осью графика дает искомую скорость воздушного потока, м/с.

Скорость ветра традиционно принимают по так называемой шкале Бофорта (табл. 5). Эта шкала является условной: в ее основе — оценка скорости ветра по его воздействию на наземные предметы или по волнению на море.

Т а б л и ц а 5

Шкала Бофорта

Баллы	Скорость ветра, м/с	Характеристика ветра	Действия ветра
0	0	Штиль	Полное отсутствие ветра. Дым из труб поднимается отвесно
1	0,9	Тихий	Дым из труб поднимается не совсем отвесно
2	2,4	Легкий	Движение воздуха ощущается лицом. Шелестят листья
3	4,4	Слабый	Колеблются листья и мелкие сучья. Развеваются легкие флаги
4	6,7	Умеренный	Колеблются тонкие ветки деревьев. Ветер поднимает пыль и клочки бумаги
5	9,3	Свежий	Колеблются большие сучья. На воде появляются волны
6	12,3	Сильный	Колеблются большие ветки. Гудят телефонные провода
7	15,6	Крепкий	Качаются стволы небольших деревьев. На море поднимаются пенящиеся волны
8	18,9	Очень крепкий	Ломаются ветки деревьев. Трудно идти против ветра
9	22,6	Шторм	Небольшие разрушения. Срываются дымовые трубы и черепица
10	26,4	Сильный шторм	Значительные разрушения. Деревья вырываются с корнем
11	30,5	Жестокий шторм	Большие разрушения
12	34,8		
13	39,2		
14	43,8		
15	48,6	Ураган	Опустошительные действия
16	53,5		
17	58,6		

Требования к оформлению отчета

Отчет о выполненной работе включает:
сформулированную цель работы;
описание анемометра;
краткое изложение методики проведения эксперимента;
обработанные результаты эксперименты;
выводы по результатам работ.

Контрольные вопросы

1. Назначение анемометра.
2. Принцип действия анемометра.
3. Указания по эксплуатации.

Список рекомендуемой литературы

1. Чашечный анемометр. Паспорт.
2. Наладка и регулирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха : справочное пособие / Б. А. Журавлев, Г. Я. Загальский, Р. Н. Тобза и др. ; под ред. Б. А. Журавлева. — М. : Стройиздат, 1980. — 448 с.

Лабораторная работа 4

ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ БАРОМЕТРОМ

Цель работы — изучить принцип действия прибора для измерения атмосферного давления воздуха (барометра атмосферного БАММ-1); научиться измерять давление на практике.

Содержание работы

После изучения принципа действия по данным методическим указаниям производится измерение атмосферного давления и вводятся поправки.

Теоретическая часть

Принцип действия барометра. Приборы для измерения давления воздуха, как правило, классифицируются по виду измеряемого давления и принципу действия. Первый признак определяет измеряемое прибором давление — атмосферное, избыточное или разрежение (вакуум). По принципу действия приборы делятся на жидкостные, мембранные, пружинные, электрические и комбинированные.

На рис. 5 представлен барометр-анероид. Принцип его действия основан на свойстве упругих тел изменять свою форму в зависимости от величины производимого на них давления. Приемником давления в анероиде служит металлическая коробка 1 с волнистыми поверхностями. В коробке создано разрежение, а для того чтобы атмосферное давление не сплющило ее, плоская пружина оттягивает крышку коробки вверх. При увеличении атмосферного давления коробка сжимается и конец пружины опускается, а при уменьшении давления — наоборот. К пружине с помощью передаточного механизма 2 прикреплена стрелка указателя 3, которая передвигается вправо и влево при изменении давления. Под стрелкой на циферблате нанесены деления, соответствующие показаниям барометра, кПа.

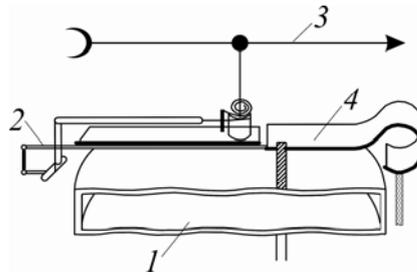


Рис. 5. Схема барометра-анероида: 1 — приемник давления; 2 — передаточный механизм; 3 — стрелка указателя; 4 — плоская пружина

Основные технические данные. Барометр-анероид метеорологический БАММ-1 предназначен для измерения атмосферного давления в наземных условиях при температуре $0 \dots 40 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности до 80 %.

Диапазон измеряемого давления $80 \dots 106 \text{ кПа}$.

Пределы допускаемой погрешности барометра, Па, не более: основной ± 200 ; дополнительной ± 500 .

Цена деления шкалы 100 Па.

Масса, кг, не более: без футляра 0,9; с футляром 1,2.

Габаритные размеры, мм, не более: диаметр 145; высота 90.

Методика проведения эксперимента и обработки результатов

Правила техники безопасности. При эксплуатации барометра воспрещается:

- вынимать барометр из корпуса;
- поворачивать через отверстие корпуса установочный винт.

Примечание. При эксплуатации барометра температуру окружающей среды отсчитывают по термометру, погрешность которого не более $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Последовательность проведения эксперимента. Рабочее положение барометра — горизонтальное. Для устранения влияния позиционных ошибок следует устанавливать барометр так, чтобы при визуальном осмотре не был замечен какой-либо наклон его шкалы.

Барометр должен быть защищен от влияния прямого солнечного света и резких колебаний температуры.

При измерении атмосферного давления отсчитывают показания барометра, соблюдая следующие условия:

для устранения влияния трения в механизме барометра перед отсчетом необходимо слегка постучать по его корпусу или стенке;

во избежание искажений при отсчете луч зрения должен быть перпендикулярен к плоскости шкалы;

отсчет по барометру производят с точностью до 50 Па.

Отсчет по барометру должен быть исправлен введением в его показания поправок (табл. б). Температурная поправка вычисляется по формуле

$$P_t = a + bt + ct^2 + dt^3 + K(t - 20)(P_K - P_S),$$

где $a = 2$; $b = -1,2$; $c = -0,00186$; $d = 0,00026$; $K = 0,000312$; $P_K = 97591,998$.

Значения поправок показаний шкалы барометра, Па

Показания шкалы	Поправка	Показания шкалы	Поправка
106 000	– 60	92 000	+ 160
105 000	+ 10	91 000	+ 210
104 000	+ 10	90 000	+ 235
103 000	+ 10	89 000	+ 260
102 000	+ 10	88 000	+ 260
101 000	+ 10	87 000	+ 260
100 000	+ 35	86 000	+ 310
99 000	+ 60	85 000	+ 360
98 000	+ 60	84 000	+ 360
97 000	+ 60	83 000	+ 360
96 000	+ 85	82 000	+ 360
95 000	+ 110	81 000	+ 360
94 000	+ 110	80 000	+ 400
93 000	+ 110		

Не реже одного раза в шесть месяцев следует производить сверку показаний барометра-анероида с показаниями ртутного барометра. Если расхождение показаний барометра-анероида и ртутного барометра после введения поправок превышает 200 Па при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ и 500 Па в диапазоне температур $0\dots 15^\circ\text{C}$ и $25\dots 40^\circ\text{C}$, то необходимо провести поверку барометра с введением уточненной добавочной поправки.

Требования к оформлению отчета

Отчет о выполненной работе включает:

- сформулированную цель работы;
- описание барометра-анемометра;
- краткое изложение методики проведения эксперимента;
- обработанные результаты эксперимента.

Контрольные вопросы

1. Назначение барометра.
2. Принцип действия барометра.

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЫЛЕГАЗОВОГО ПОТОКА В ВОЗДУХОВОДЕ И ПОМЕЩЕНИИ

Цель работы — освоить на практике характерные приемы инструментальных замеров параметров состояния и компонентного состава пылегазовых потоков в воздуховодах систем вентиляции и помещении при осуществлении контроля работы пылегазоочистного оборудования.

Содержание работы

Программа выполняемой работы включает:

ознакомление с составом и принципом действия измерительных приборов, применяемых при пылегазовых замерах;

измерение динамического давления в локальных точках сечения воздуховода;

определение величины локальных и осредненной скоростей в замерном сечении воздуховода;

определение объемного расхода газа через замерное сечение воздуховода;

определение запыленности — измерение концентрации пыли в газовом потоке;

определение дисперсного состава пыли в газовом потоке в воздуховоде;

сравнение результатов замеров, выполненных на восходящем и нисходящем потоках газа (участки Б и А).

Теоретическая часть

Определение массового содержания пыли в воздухе. Наиболее распространенный метод определения массового содержания пыли в воздухе состоит в том, что некоторый объем воздуха пропускают через фильтрованный материал и определяют массу этого материала до и после запыления.

В настоящее время применяют аналитические аэрозольные фильтры АФА. Фильтрующим материалом является перхлорвиниловая ткань ФПП. Ткань помещена в защитное бумажное кольцо. При отборе проб фильтры устанавливаются в металлические или пластмассовые патроны. В качестве побудителя могут быть использованы аспиратор (воздуходувка), пылесос с ротаметром. Патрон и фильтры соединены с аспиратором резиновыми шлангами. Для измерения расхода воздуха применяют ротаметр, который представляет собой стеклянный усеченный конус, внутри которого находится поплавок. На стеклянный усеченный конус нанесена шкала.

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на испытательном стенде, включающем параллельно установленные вертикальные воздухопроводы круглого сечения, U-образно соединенные снизу главными отводами в систему каналов с разнонаправленным движением газового потока (рис. 6). В верхней части один из вертикальных воздухопроводов подключен через шибер к системе вытяжной вентиляции, а второй воздухопровод оборудован вибрационным дозатором пыли. Оба воздухопровода в третьей четверти оборудованы замерными лючками и штуцерами для установки термометров. Воздуховоды выполнены из листовой жести диаметром 200 мм.

Для проведения замеров стенд оснащен: микроманометром ММН, пневмометрической и пылеотборной трубками НИИОГАЗ, воздуходувкой, аллонжами для фильтров АФА, импактором НИИОГАЗ.

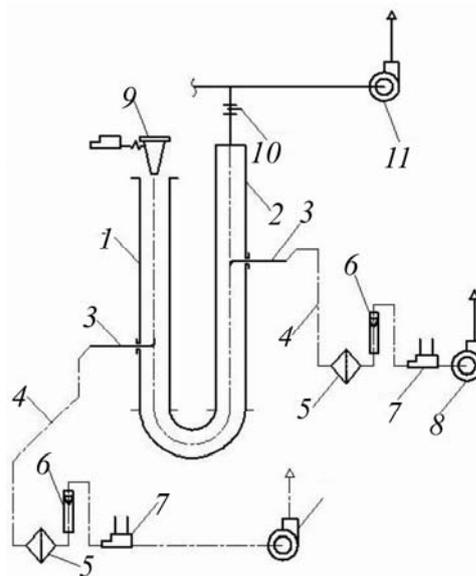


Рис. 6. Схема лабораторного стенда для исследования параметров пылегазового потока в воздуховоде: 1 — замерный участок с нисходящим потоком; 2 — замерный участок с восходящим потоком; 3 — пневмометрические (пробоотборные) трубки; 4 — соединительные трубки; 5 — аллонж; 6 — ротаметр; 7 — психрометр; 8 — воздуходувка; 9 — вибрационный дозатор; 10 — шибер; 11 — вентилятор

Методика проведения эксперимента и обработка результатов

Правила техники безопасности. Перед началом выполнения инструментальных измерений под руководством преподавателя проводится ознакомление с особенностями конструкции применяемых измерительных приборов и оборудования, а также приемами проводимых с их помощью замеров.

Включение установки в работу производится преподавателем или дежурным лаборантом.

О выявленных неисправностях немедленно ставится в известность преподаватель или дежурный лаборант.

Последовательность проведения эксперимента. Прямое инструментальное измерение величины динамического давления P_d в замерном сечении воздуховода выполняется с учетом особенностей скоростного профиля в сечении потока газа. Для этого замерное сечение разделяется на условные кольца с равновеликими площадями согласно следующему условию:

Диаметр воздуховода, мм	до 200	200...400	400...600	600...800	800...1000	более 1000
Количество условных колец	3	4	5	6	8	10

На середине ширины каждого условного кольца принимается точка замера, в которой размещается ось входного отверстия пробоотборного устройства. Середина ширины каждого условного кольца определяется по формуле

$$l_m = 0,5D \sqrt{\frac{2m-1}{2n}},$$

где l_m — расстояние точки замера от оси воздуховода, м; m — порядковый номер кольца (отсчет идет от оси воздуховода, которая принимается за 0); n — число колец, на которые разделена площадь замерного сечения.

Величина динамического давления $P_{ди}$, Па, определяется на основе показания шкалы микроманометра по формуле

$$P_{ди} = 9,81HKa,$$

где H — показание шкалы микроманометра, мм; K — коэффициент наклона трубки микроманометра; a — поправочный коэффициент пневмометрической трубки.

На основании величины $P_{ди}$ определяется значение скорости в соответствующей точке условных колец замерного сечения v_i , м/с:

$$v_i = \sqrt{\frac{2P_{ди}}{\rho}},$$

где ρ — плотность газа (воздуха), принимаемая по величине среднеарифметического значения его температуры за период измерений, кг/м³.

На основании полученных значений v_i рассчитывается величина средней скорости потока в замерном сечении v , м/с:

$$v = \frac{v_1 + \dots + v_n}{n'},$$

где v_1, v_n — значения скорости в точках условных колец замерного сечения, м/с; n' — суммарное число точек в замерном сечении.

По величине средней скорости v определяется объемный расход потока газа через замерное сечение воздуховода L , м³/ч:

$$L = 3600 \cdot 0,785D^2v,$$

где D — диаметр воздуховода в замерном сечении, м.

Результаты расчетов сводятся в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Протокол измерений параметров пылегазового потока

Номер замерной точки	Коэффициент наклона ММН	Динамическое давление $P_{ди}$, мм вод. ст.	Статическое давление $P_{ст}$, мм вод. ст.	Температура газа t , °С	Барометрическое давление $P_{ат}$, мм рт. ст.	Скорость в замерной точке v_i , м/с	Средняя скорость в сечении v_i , м/с	Производительность по газу L_1 , м ³ /ч

Запыленность (концентрацию пыли) вычисляют как отношение массы отобранной пыли к объемному расходу отобранного газа (воздуха).

Отбор проб пыли из воздуховодов осуществляют пылеотборными трубками конструкции НИИОГАЗ, укомплектованными набором наконечников с различным диаметром входного сечения. Для получения достоверных результатов пробы отбирают с соблюдением условия изокинетичности, при котором скорость движения воздуха во входном отверстии наконечника пылеотборной трубки должна быть равной скорости движения воздуха в точке замера. Исходя из полученных локальных значений скорости (см. табл. 7), для каждой замерной точки определяют объемный расход отбираемого в условиях изокинетичности воздуха L'_i , л/мин:

$$L'_i = 0,047v_i d_{\text{тр}}^2,$$

где $d_{\text{тр}}$ — диаметр входного отверстия наконечника пылеотборной трубки, мм (для лабораторной установки $d_{\text{тр}} = 5$ мм).

По значению L'_i определяют необходимое время отбора проб в каждой замерной точке с учетом предполагаемой концентрации и достоверного объема отбираемого запыленного воздуха τ_i , мин:

$$\tau_i = V / L'_i,$$

где V — объем отбираемого воздуходувкой воздуха, обеспечивающей достоверность навески пыли на аналитическом фильтре в аллонже, л; принимают следующие значения:

Осредненная концентрация пыли в замерном сечении, мг/м ³	до 2	2...10	10...50	50
Объем отбираемого воздуха, л	1000	500	250	100

Пробы отбирают интегральным методом, путем равномерного перемещения пылеотборной трубки по диаметру замерного сечения с фиксацией в замерных точках условных колец. Отбор ведется на предварительно взвешенные аналитические фильтры, заряженные в аллонжы. После завершения отбора проводят повторное взвешивание фильтров и по разности массы определяют привес пыли на фильтрах, $\Delta M_{\text{ф}}$, м:

$$\Delta M_{\text{ф}} = M_{\text{фк}} - M_{\text{фн}},$$

где $M_{\text{фн}}$ и $M_{\text{фк}}$ — масса фильтра перед и после отбора пробы, мг.

Исходя из полученного значения $\Delta M_{\text{ф}}$, определяют концентрацию пыли в потоке газа (воздуха) C , мг/м³:

$$C = \frac{\Delta M_{\text{ф}}}{vn'},$$

где n' — суммарное число замерных точек в сечении.

Результаты измерений и расчетов сводятся в табл. 8.

По результатам измерений и расчетов составляют отчет.

Протокол измерений параметров пылегазового потока для определения концентрации

Номер замерного сечения	Номер замерной точки в сечении	Динамическое давление в точке P_d , мм вод. ст.	Скорость в точке v_i , м/с	Средняя скорость в сечении v , м/с	Объемный расход воздуха в сечении L , м ³ /ч	Температура очищенного газа t , °С	Объем отбираемого воздуха в точке L_i , л/мин	Начальная масса фильтра $M_{фи}$, мг	Время отбора пробы в точке τ_i	Конечная масса фильтра $M_{фк}$, мг	Привес фильтра ΔM_c , мг	Концентрация пыли в очищенном газе C , мг/м ³
С1												
С2												

Требования к оформлению отчета

Отчет о выполненной работе включает:
сформулированную цель работы;
описание лабораторной установки;
краткое изложение методики измерений и примеры расчета вычисляемых величин;
результаты измерений и расчетов в табличной форме;
выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Область проведения исследований параметров пылегазовых потоков в воздухо-водах.
2. Последовательность проведения замеров параметров состояния пылегазового потока.
3. Порядок определения запыленности потока газа.
4. Порядок определения дисперсного состава пыли в газовом потоке.
5. Оборудование для определения дисперсного состава пыли в потоке газа.

Список рекомендуемой литературы

1. *Гордон, Г. М.* Контроль пылеулавливающих установок / Г. М. Гордон, И. Л. Пейсахов. — М. : Metallurgy, 1983. — 383 с.
2. *Алиев, Г. М.* Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок / Г. М. Алиев. — М. : Metallurgy, 1988. — 368 с.
3. Наладка и регулирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха / под ред. И. П. Журавлева. — М. : Стройиздат, 1980. — С. 84—93.
4. *Штокман, Е. А.* Очистка воздухом / Е. А. Штокман. — М. : АСВ, 1999. — 320 с.

Лабораторная работа 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА В ВОЗДУХОВОДАХ

Цель работы — ознакомиться с методикой измерения поля скоростей в воздуховоде и определения расхода воздуха через него по методу равновеликих площадей.

Содержание работы

Измеряют внутренний диаметр воздуховода. Поперечное сечение воздуховода разбивают на ряд равновеликих площадей. Получают ряд колец (если воздуховод цилиндрический) и один круг. В получившихся кольцах и круге измеряют динамическое давление. По динамическим давлениям определяют скорости v_i . Затем находят среднее значение скорости в данном поперечном сечении и по уравнению неразрывности определяют расход воздуха.

Теоретическая часть

Объемный расход воздуха L , м³/с, в воздуховоде определяется по формуле

$$L = v_{\text{ср}} F, \quad (1)$$

где $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость воздушного потока по площади сечения воздуховода, м/с; F — площадь поперечного сечения воздуховода, м².

Средняя скорость $v_{\text{ср}}$, м/с, определяется по формуле

$$v_{\text{ср}} = \sum \frac{v_i}{n}, \quad (2)$$

где v_i — скорость воздуха в точке замера, м/с; n — число точек замеров.

Данная формула справедлива, если расход воздуха определяется по методу равновеликих площадей (рис. 7). Суть его заключается в том, что сечение круглого воздуховода делится на 3...6 равновеликих площадей I . Количество колец зависит от диаметра воздуховода. На каждые 100 мм диаметра — одно кольцо, но не менее трех колец — для относительно небольших диаметров. В середине каждого кольца производят измерение скорости v_f . Точки измерения скорости воздуха 2 в данном сечении назначаются по двум взаимно-перпендикулярным направлениям.

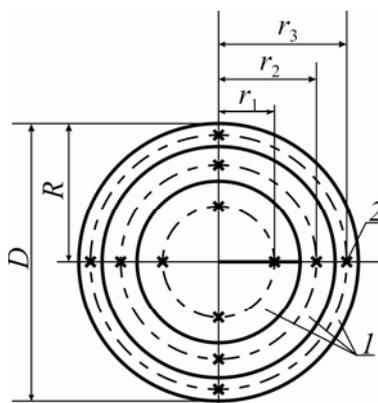


Рис. 7. Разбивка воздуховода на равновеликие площади: I — равновесные площади; 2 — точки измерения скорости воздуха

Расстояние от точек замера до центра вычисляют по формуле

$$r_n = R \sqrt{\frac{2n-1}{2m}}, \quad (3)$$

где R — радиус воздуховода, мм; n — порядковый номер кольца (считая от центра); m — число колец.

Пр и м е р. Рассмотрим разбивку воздуховода диаметром 300 мм на кольца, равновеликие по площади (см. рис. 7).

Разбиваем поперечное сечение воздуховода на три кольца. Согласно (3) расстояния от точек замера до центра равны

$$r_1 = 150 \sqrt{\frac{2 \cdot 1 - 1}{2 \cdot 3}} = 61,2 \text{ мм};$$

$$r_2 = 150 \sqrt{\frac{2 \cdot 2 - 1}{2 \cdot 3}} = 106 \text{ мм};$$

$$r_3 = 150 \sqrt{\frac{2 \cdot 3 - 1}{2 \cdot 3}} = 137 \text{ мм}.$$

Скорость воздуха в каждой точке замера определяется косвенным методом: измеряется динамическое давление, а скорость движения воздуха определяется по формуле

$$v = \sqrt{\frac{2P_d}{\rho}}, \quad (4)$$

где P_d — динамическое давление, Па; ρ — плотность воздуха, кг/м³ (для стандартных условий $\rho = 1,2$ кг/м³).

Скорости в поперечном сечении воздуховода распределяются неравномерно. Неравномерность распределения скоростей характеризуется коэффициентом неравномерности C :

$$C = \frac{C_\Gamma + C_B}{2}, \quad (5)$$

где C_Γ — коэффициент неравномерности поля скоростей по горизонтальному направлению сечению воздуховода; C_B — коэффициент неравномерности поля скоростей по вертикальному направлению сечения воздуховода.

Коэффициенты C_Γ и C_B определяются по формулам

$$C_\Gamma = \frac{v_\Gamma^{\text{cp}}}{v_O^{\text{cp}}}; \quad (6)$$

$$C_B = \frac{v_B^{\text{cp}}}{v_O^{\text{cp}}}, \quad (7)$$

где v_{Γ}^{cp} , v_{B}^{cp} — средние скорости по горизонтальному и вертикальному направлениям сечения воздуховода соответственно, м/с; v_{O}^{cp} — средняя скорость по двум измерениям в точке O на оси воздуховода:

$$v_{\text{O}}^{\text{cp}} = \frac{v_{\text{O}}^{\Gamma} + v_{\text{O}}^{\text{B}}}{2}, \quad (8)$$

где v_{O}^{Γ} — скорость воздуха, измеренная в точке O на оси воздуховода в горизонтальном направлении сечения воздуховода, м/с; v_{O}^{B} — скорость воздуха, измеренная в точке O на оси воздуховода в вертикальном направлении сечения воздуховода, м/с.

Расход воздуха L_0 , м³/ч, с учетом коэффициента неравномерности C определяется по формуле

$$L_0 = v_{\text{O}}^{\text{cp}} CF \cdot 3600. \quad (9)$$

Измерение поля скоростей в прямоугольных воздуховодах проводится аналогично: сечение воздуховода разбивается на равновеликие по площади прямоугольные элементы.

Определение скорости необходимо производить в тех сечениях, где нет влияния на поток местных сопротивлений. Однако практически осуществить это очень сложно. Обычно вблизи мерного сечения имеется возмущение потока. При измерениях мерный участок должен быть расположен на расстоянии не менее шести гидравлических диаметров $\left(D_h = \frac{4F}{\pi} \right)$ за местом возмущения потока (отводы, диафрагмы, шиберы и т. д.) и не менее двух гидравлических диаметров перед ним.

Для производственных замеров устанавливают методы выбора точек измерения и обработки результатов.

Описание лабораторной установки

Для определения скорости воздуха применяются трубка Пито — Прандтля и микроанометр многопредельный с наклонной трубкой типа ММН.

Лабораторная установка состоит из радиального вентилятора с электродвигателем, всасывающего воздуховода с коллектором, регулирующего устройства, трубки Пито — Прандтля, перемещаемой с помощью координатного устройства, имеющего шкалу.

Методика проведения эксперимента и обработка результатов

Правила техники безопасности. К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при проведении лабораторных работ и расписавшиеся в журнале.

Пуск и остановку вентилятора могут производить только лаборант или преподаватель.

Последовательность проведения эксперимента. Диаметр воздуховода, в котором необходимо измерить поле скоростей и определить расход воздуха, равен 300 мм. Принцип разбивки для него изображен на рис. 7, где указаны расстояния от оси воздуховода до точек замера.

Работу проводят в такой последовательности:

1. В точках замера измеряют динамическое давление.
2. Определяют скорость воздуха v_j в точках замера по (4).
3. Определяют среднюю скорость v_{cp} по (2).
4. Определяют коэффициенты неравномерности C_r, C_b, C по (5—7).
5. Определяют среднюю скорость v_O^{cp} на оси воздуховода по (8).
6. Определяют расход воздуха L по (1).
7. Определяют расход воздуха L_O с учетом коэффициента неравномерности C по (9).

Результаты измерений и расчетов сводятся в табл. 9.

Т а б л и ц а 9

Протокол испытаний

Расчетные величины	Размерность	Точки замера													
		Вертикальное направление							Горизонтальное направление						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
m	мм														
P_d	Па														
v_i	м/с														
v_r^{cp}	м/с														
v_b^{cp}	м/с														
v_O^{cp}	м/с														
C_r	—														
C_b	—														
C	—														
F	м ²														
L	м ³ /ч														
L_O	м ³ /ч														

Требования к оформлению отчета

В отчет необходимо включить:

схему и описание лабораторной установки;

построенную эпюру;

данные для построения эпюры скоростей (приведены в табл. 9);

заполненную табл. 9.

Контрольные вопросы

1. Принцип действия микроанометра.
2. Устройство трубки Пито — Прандтля.
3. Как определить среднюю скорость воздействия потока в воздуховоде?
4. Как рассчитать объемный расход воздуха в воздуховоде?

Список рекомендуемой литературы

1. Наладка и регулирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха : справочное пособие / Б. А. Журавлев, Г. Я. Загальский, Р. Н. Гобза и др. ; под ред. Б. А. Журавлева. — М. : Стройиздат, 1980. — 448 с.
2. *Преображенский, В. П.* Теплотехнические измерения и приборы / В. П. Преображенский. — М. : Энергия, 1978. — 703 с.

План выпуска учеб.-метод. документ. 2013 г., поз. 24

Начальник РИО *М. Л. Песчаная*
Зав. редакцией *О. А. Шипунова*
Редактор *Н. Э. Фотина*
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Вишняков*

Подписано в свет 25.07.2013.
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 1,4. Объем данных 600 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru