

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

**Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей
1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»,
7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Витебск
2025

Составители:

С. В. Жерносек, И. А. Тимонов, С. А. Рудаков

Одобрено кафедрой «Теплоэнергетика»
УО «ВГТУ», протокол № 8 от 22.05.2025.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 9 от 28.05.2025.

Вентиляция и кондиционирование воздуха : методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. С. В. Жерносек, И. А. Тимонов, С. А. Рудаков – Витебск : УО «ВГТУ», 2025. – 40 с.

Методические указания содержат описание лабораторных работ по дисциплине «Вентиляция и кондиционирование воздуха» в соответствии с учебной программой для студентов специальностей 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» и 7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника». В пособии приведены схемы и описание учебно-лабораторного оборудования, состав контрольно-измерительного оборудования, порядок проведения работы и рекомендуемая литература.

УДК 697

© УО «ВГТУ», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1	
Исследование коэффициентов местных сопротивлений	4
Лабораторная работа 2	
Исследование коэффициентов сопротивления трения воздуховодов с различной шероховатостью	14
Лабораторная работа 3	
Изучение способов измерения скорости и расхода воздуха анемометрами различного типа	19
Лабораторная работа 4	
Исследование основных параметров воздушного потока и распределения статических давлений в воздуховоде	23
Лабораторная работа 5	
Исследование метеорологических параметров в помещении	30
Лабораторная работа 6	
Определение скорости витаний частиц различных сыпучих материалов	34
Литература	38
Приложение А. Методика перевода замеренного в миллиметрах наклонного спиртового столба давления воздуха в паскали	39

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

1 НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Цель работы: изучить и экспериментально определить коэффициенты местных сопротивлений (КМС) для типовых элементов воздуховодов, включая повороты, внезапное расширение и сужение сечения, с целью обеспечения точного учета местных потерь давления при проектировании вентиляционных систем.

Задача работы: ознакомить студентов с методикой экспериментального определения и получения величины коэффициентов местных сопротивлений поворота потока, внезапного расширения и сужения сечения воздуховода (рис. 2.1).

При подсчете потерь давления в воздуховодах необходимо знать величину коэффициентов местных сопротивлений (КМС). Местные потери давления в воздуховодах возникают при резких изменениях сечения или поворотах потока, при разделении или слиянии потоков в тройниках, крестовинах и других фасонных частях.

Во многих случаях местные потери давления в воздуховодах составляют значительную часть от величины общих гидравлических потерь. Поэтому требуется их учет с необходимой точностью.

2 СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОВОРОТА ВОЗДУХОВОДА

2.1 Теоретические основы

Потеря давления в местном сопротивлении в Па выражают в долях от динамического давления, т.е.

$$P_{\text{м.с.}} = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v_{\text{ср}}^2}{2} \quad (2.1.1)$$

где ζ – безразмерный коэффициент местного сопротивления; ρ – плотность воздуха, кг/м³; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость по сечению воздушного потока, м/с.

Из равенства (2.1.1) находим величину коэффициента местного сопротивления

$$\zeta = \frac{2 \cdot P_{\text{м.с.}}}{\rho \cdot v_{\text{ср}}^2} \quad (2.1.2)$$

Для большинства геометрически подобных местных сопротивлений величины ζ постоянны. Для определения величины поворота необходимо измерить полные давления в точках 3 и 4 (рис. 2.2).

Так как, воздуховод имеет постоянное сечение, то в точках 3 и 4 можно замерить не полное, а статическое давление. В перепадах давления между сечениями 3 и 4 входят потери на трение $P_{\text{тр}}$ и на местное сопротивление поворота $P_{\text{м.с.}}$, т.е.

$$P_3 - P_4 = P_{\text{тр}} + P_{\text{м.с.}} \quad (2.1.3)$$

Потери давления на трение в Па определяются по формуле:

$$P_{\text{тр}} = R \cdot l_{3-4} \quad (2.1.4)$$

где $R = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot v_{\text{ср}}^2}{2 \cdot d}$ – потери давления на 1 м длины воздуховода, Па/м; λ – коэффициент трения; d – внутренний диаметр воздуховода, м; l_{3-4} – расстояние между расчетными точками 3 и 4, м.

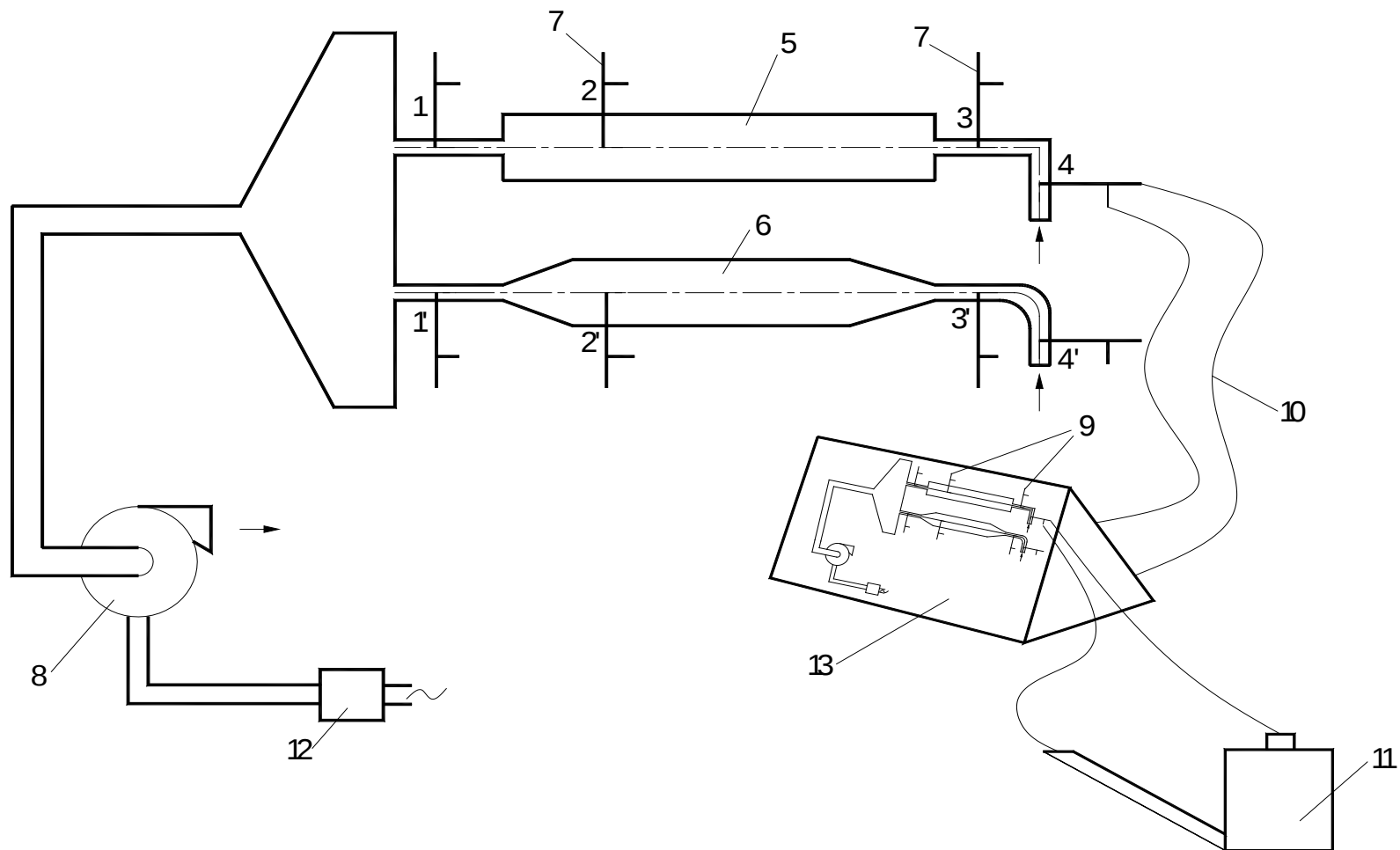


Рисунок 2.1 – Схема экспериментальной установки:

1, 2, 3, 4, 1', 2', 3', 4' – точки замеров; 5, 6 – опытные воздуховоды с резкими и плавными соединениями участков; 7 – воздухомерные трубки; 8 – вентилятор; 9 – штуцеры панели; 10 – резиновые шланги; 11 – микроманометр; 12 – регулятор напряжения; 13 – панель измерения.

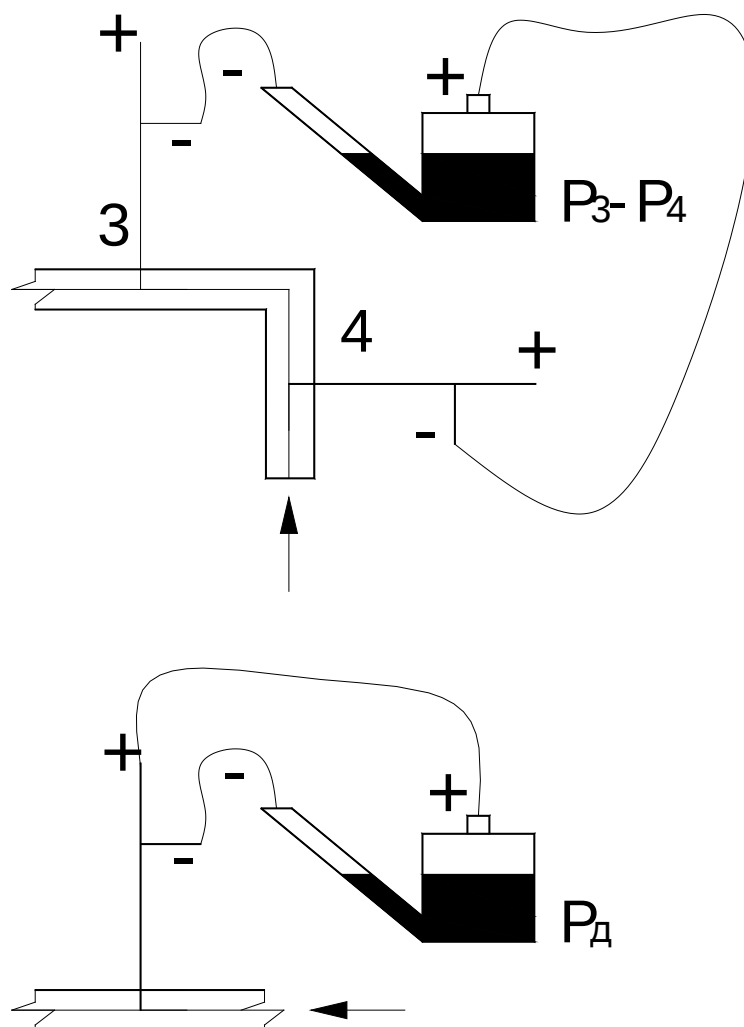


Рисунок 2.2 – Схема для определения КМС внезапного поворота

Плотность воздуха определяется из выражения:

$$\rho = \rho_o \cdot \frac{P_{\text{бар}} \cdot (273 + t_o)}{P_o \cdot (273 + t)} \quad (2.1.5)$$

где $\rho_o = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха при стандартных условиях ($P_o = 760 \text{ мм.рт.ст.}$, $t_o = 20 \text{ }^\circ\text{C}$); $P_{\text{бар}}$ и t – барометрическое давление и температура воздуха в условиях опыта, мм. рт. ст. и $^\circ\text{C}$.

Средняя скорость движения воздуха в воздуховоде, м/с, определяется по формуле

$$v_{\text{cp}} = k_n \cdot v_{\text{max}} \quad (2.1.6)$$

где k_n – коэффициент поля скоростей воздушного потока (для турбулентного режима движения $k_n = 0,85$, для ламинарного – $k_n = 0,5$); $v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_d}{\rho}}$ – скорость воздушного потока на оси воздуховода, м/с; P_d – измеренная величина динамического давления, на оси воздуховода, Па.

Из выражения (2.1.2) с учетом равенства (2.1.3) находим ζ поворота

$$\zeta_{\text{пов}} = \frac{2 \cdot [(P_3 - P_4) - R \cdot l_{3-4}]}{\rho \cdot v_{\text{ср}}^2} \quad (2.1.7)$$

где $P_3 - P_4$ – замеренная величина потери статического давления между сечениями 3 и 4, Па.

2.2 Порядок измерения

2.2.1. Проводится ознакомление с экспериментальной установкой.

2.2.2. Микроманометр выводится по уровням в горизонтальное положение, уровень спирта в наклонной трубке устанавливается на нулевое деление.

2.2.3. Микроманометр подключается резиновыми шлангами к воздухомерным трубкам по схеме рис. 2.2 и измеряется перепад статических давлений $P_3 - P_4$ в мм. наклонного спиртового столба, который пересчитывается в Па.

2.2.4. Измеряется динамическое давление в центре воздуховода в точке 4 (по схеме рис. 2.2) в мм. накл. сп. ст. и пересчитывается в Па.

2.2.5. Измерения повторяется для воздуховода с плавным поворотом аналогично предыдущему.

2.2.6. Результаты измерений и вычислений записываются в табл. 4.1 и сравниваются полученные значения ζ для различных по форме поворотов воздуховода.

3. СОПРОТИВЛЕНИЕ ВНЕЗАПНОГО РАСШИРЕНИЯ СЕЧЕНИЯ ВОЗДУХОВОДА

3.1 Теоретические основы

Для определения величины ζ внезапного расширения необходимо измерить перепад полных давлений в точках 2 и 3 (рис. 3.1), а также определить средние скорости в точках 2 и 3. При этом можно написать следующее равенство:

$$P_2 - P_3 = R_3 \cdot l_3 + R_2 \cdot l_2 + P_{\text{м.с.}} \quad (3.1.1)$$

где R_3 – потери давления на 1 м длины воздуховода диаметром d_3 Па/м;

$$R_3 = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot v_3^2}{2 \cdot d_3} \quad (3.1.2)$$

где R_2 – потери давления на 1 м длины воздуховода диаметром d_2 Па/м;

$$R_2 = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot v_2^2}{2 \cdot d_2} \quad (3.1.3)$$

где $P_{\text{м.с.}}$ – потери давления во внезапном расширении, Па;

$$P_{\text{м.с.}} = \zeta_{\text{расш}} \cdot \frac{\rho \cdot v_3^2}{2} \quad (3.1.4)$$

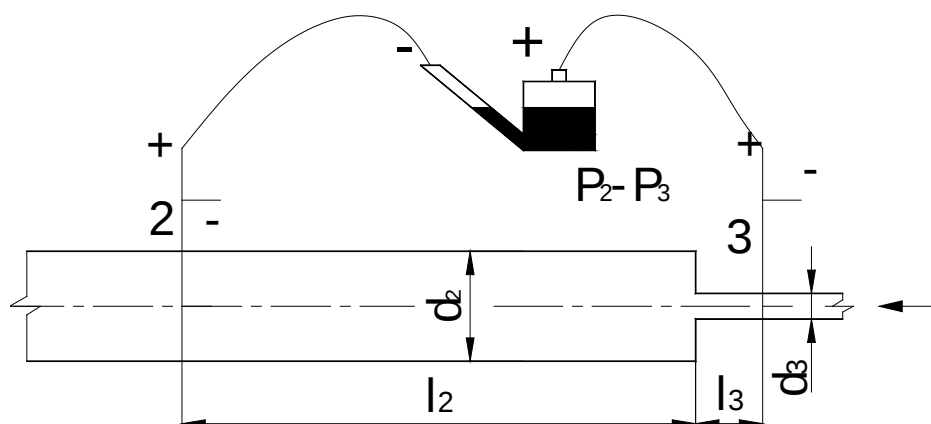


Рисунок 3.1 – Схема для определения КМС внезапного расширения

Из (3.1.1) с учетом (3.1.4) определяем ζ внезапного расширения

$$\zeta_{\text{расш}} = \frac{2 \cdot [(P_2 - P_3) - R_3 \cdot l_3 - R_2 \cdot l_2]}{v_3^2 \cdot \rho} \quad (3.1.5)$$

3.2 Порядок измерения

3.2.1. Микроманометром по схеме рис. 3.1 измеряется перепад полных давлений $P_2 - P_3$ в мм. наклонного спиртового столба, который пересчитывается в Па.

3.2.2. По схеме рис. 3.1 измеряется динамическое давление на оси воздуховода в точке 2 (определяется скорость $v_2 = k_n \cdot v_{\text{max}}$ и на оси воздуховода в точке 3 (определяется скорость $v_3 = k_n \cdot v_{\text{max}}$).

3.2.3. Измерения повторяются для воздуховода с плавным расширением аналогично предыдущему.

3.2.4. Результаты измерений и вычислений записываются в таблицу 4.2 и, сравниваются коэффициенты местного сопротивления внезапного расширения для двух случаев (резкого и плавного расширения).

4. СОПРОТИВЛЕНИЕ ВНЕЗАПНОГО СУЖЕНИЯ СЕЧЕНИЯ ВОЗДУХОВОДА

4.1 Теоретические основы

Для определения ζ внезапного сужения сечения воздуховода необходимо измерить перепад полных давлений в точках 1 и 2 (рис. 4.1), а также динамические давления в точках 1 и 2, чтобы определить средние скорости в этих точках.

В перепад давления между точками 1 и 2 входят потери на трение и на местное сопротивление внезапного сужения, т.е.

$$P_1 - P_2 = R_2 \cdot l_2 + R_1 \cdot l_1 + P_{\text{м.с.}} \quad (4.1.1)$$

где $R_2 = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot v_2^2}{2 \cdot d_2}$; $R_1 = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot v_1^2}{2 \cdot d_1}$; l_2, l_1 — длины участков воздуховода, м; $P_{\text{м.с.}}$ — потеря давления на местное сопротивление внезапного сужения; Па

$$P_{\text{м.с.}} = \zeta_{\text{суж}} \cdot \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} \quad (4.1.2)$$

где v_1 — средняя по сечению скорость потока после внезапного расширения, м/с.

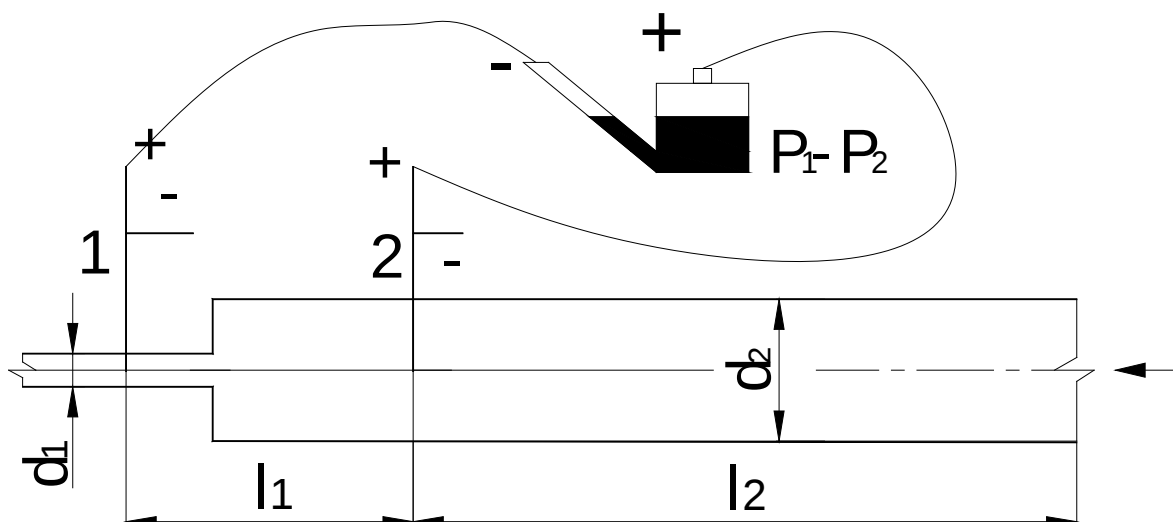


Рисунок 4.1 – Схема для определения КМС внезапного сужения.

Из (4.1.1) с учетом (4.1.2) определяется коэффициент местного сопротивления внезапного сужения

$$\zeta_{\text{суж}} = \frac{2 \cdot [(P_1 - P_2) - R_2 \cdot l_2 - R_1 \cdot l_1]}{\rho \cdot v_1^2} \quad (4.1.3)$$

4.2 Порядок измерения

4.2.1. Микроманометром по схеме рис. 4.1 определяется перепад полных давлений $P_1 - P_2$ в мм. наклонного столба, который пересчитывается в Па.

4.2.2. По схеме рис. 2.2 измеряется динамическое давление на оси воздуховода в точке 1 (определяется скорость $v_1 = k_n \cdot v_{\text{max}}$) и точке 2 (определяется скорость $v_2 = k_n \cdot v_{\text{max}}$).

4.2.3. Измерения повторяются для воздуховода с плавным сужением аналогично предыдущему.

4.2.4. Результаты измерений и вычисления записываются в табл. 4.3 и сравниваются коэффициенты местного сопротивления внезапного сужения для двух случаев (резкого и плавного сужения).

Таблица 4.1 – Данные для определения КМС поворота воздуховода

Номер опыта	Барометрическое давление $P_{\text{бар}}$, мм.рт.ст.	Температура воздуха t , °C	Плотность воздуха ρ , кг/м ³	Длина участка l_{3-4} , м	Диаметр воздуховода d , м	Разность давлений $P_3 - P_4$		Динамическое давление P_d		Скорость движения воздуха, м/с		Коэффициент трения λ	Потери давления по длине Rl_{3-4} , Па	Коэффициент поворота $\zeta_{\text{пов}}$
						мм.накл.сп.ст.	Па	мм.накл.сп.ст.	Па	максимальная v_{max}	Средняя $v_{\text{ср}}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
				0,33	0,009							0,015		

Таблица 4.2 – Данные для определения КМС внезапного расширения сечения воздуховода

Номер опыта	Барометрическое давление $P_{\text{бар}}$, мм.рт.ст.	Температура воздуха t , °C	Плотность воздуха ρ , кг/м ³	Длина участка l_3 , м	Длина участка l_2 , м	Диаметр воздуховода d_3 , м	Диаметр воздуховода d_2 , м	Потери давления по длине R_2l_2 , Па	Динамическое давление				Разность давлений		Потери давления по длине R_3l_3 , Па	Средняя скорость, м/с		Коэффициент $\zeta_{\text{расш}}$
									P_{d2}		P_{d3}		$P_2 - P_3$			$v_{\text{ср}2}$	$v_{\text{ср}3}$	
									мм.накл.сп.ст.	Па	мм.накл.сп.ст.	Па	мм.накл.сп.ст.	Па				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
			0,09	0,85	0,012	0,044												

Таблица 4.3 – Данные для определения КМС внезапного сужения сечения воздуховода

Номер опыта	Барометрическое давление $P_{\text{бар}}$, мм.рт.ст.	Температура воздуха t , °C	Плотность воздуха ρ , кг/м ³	Длина участка l_1 , м	Длина участка l_2 , м	Диаметр воздуховода d_2 , м	Диаметр воздуховода d_1 , м	Потери давления по длине $R_1 l_1$, Па	Диагностика давлений				Разность давлений		Потери давления по длине $R_2 l_2$, Па	Средняя скорость, м/с		Коэффициент $\zeta_{\text{суж}}$
									P_{d1}		P_{d2}		$P_1 - P_2$			$v_{\text{ср1}}$	$v_{\text{ср2}}$	
									мм.накл.сп.ст.	Па	мм.накл.сп.ст.	Па	мм.накл.сп.ст.	Па				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
				0,33	0,16	0,044	0,012											

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ ВОЗДУХОВОДОВ С РАЗЛИЧНОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ

1 НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Цель работы: ознакомление с методикой экспериментального определения и получения величины коэффициентов аэродинамического сопротивления трения в воздуховодах круглого поперечного сечения с различной шероховатостью.

Задачи работы: изучить и практически освоить методику экспериментального определения коэффициентов аэродинамического сопротивления трения для прямолинейных воздуховодов круглого сечения, имеющих различную степень шероховатости внутренних поверхностей.

При движении воздуха по прямолинейному воздуховоду имеют место потери давления на преодоление сил трения о стенки воздуховода. Для определения этих потерь необходимо иметь значение коэффициента трения воздуховода. Коэффициент трения находят экспериментальным путем для каждого типа воздуховодов.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Потери давления от трения в круглом цилиндрическом воздуховоде выражаются зависимостью:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot P_a \quad (2.1)$$

где ΔP – потеря полного давления на участке между рассматриваемыми сечениями, Па; λ – безразмерный коэффициент аэродинамического сопротивления трения; l – длина воздуховода между данными сечениями, м; d – внутренний диаметр воздуховода, м; P_d – динамическое давление в воздуховоде, Па;

$$P_d = \rho \cdot \frac{v_{cp}^2}{2} \quad (2.2)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³; v_{cp} – средняя скорость движения воздуха в сечении воздуховода, м/с.

Величину коэффициента трения находим из уравнения (2.1)

$$\lambda = \frac{\Delta P \cdot d}{P_d \cdot l} \quad (2.3)$$

В цилиндрическом воздуховоде с постоянным расходом по длине его скорость воздуха во всех сечениях одинакова, поэтому одинаковое и динамическое давление. Следовательно, разность полных давлений между двумя сечениями равна разности статических давлений.

Средняя скорость воздушного потока, м/с, определяется по формуле:

$$v_{cp} = 0,85 \cdot v_{max} \quad (2.4)$$

где $v_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{d(o)}}{\rho}}$ – скорость потока воздуха в центре поперечного сечения воздуховода, м/с; $P_{d(o)}$ – замеренное максимальное значение динамического давления на оси воздуховода (рис. 2.1), Па.

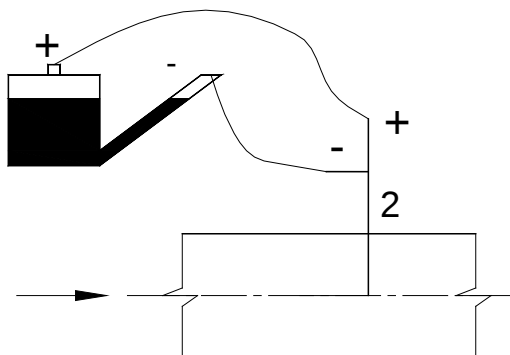


Рисунок 2.1 – Схема измерения динамического давления на оси воздуховода.

3 ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ

3.1 Проводится ознакомление с экспериментальной установкой (рис. 3.2).

3.2 Изучаются методические указания к данной работе и заготавливается журнал для записи результатов измерений.

3.3 Микроманометр выводится по уровням в горизонтальное положение, уровень спирта в наклонной трубке устанавливается на нулевое деление.

3.4 Резиновыми шлангами микроманометр подключается к воздухомерным трубкам по схеме рис. 3.1. и на участке воздуховода 3-1 измеряется перепад статического давления ΔP в мм наклонного спиртного столба, который пересчитывается в мм вертикального спиртного столба, а затем в Па.

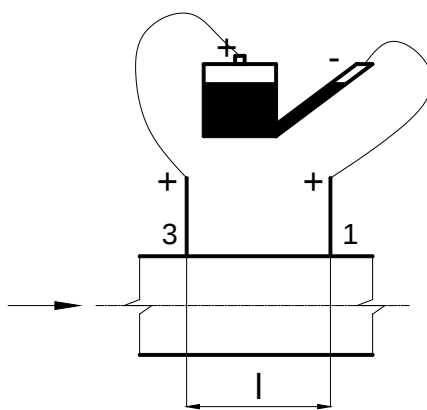


Рисунок 3.1 – Схема измерения перепада статического давления между сечениями 3-1.

3.5 Измеряется динамическое давление на оси воздуховода, для чего микроманометр подключается к воздухомерной трубке 2 по схеме рис. 2.1.

3.6 Вычисляется максимальная и средняя скорость воздушного потока и среднее динамическое давление по формуле (2.2).

3.7 По формуле (2.3) вычисляется значение коэффициента трения воздуховода λ (с округлением до десятитысячных).

3.8 Изменяя напряжение в сети (по указанию преподавателя), тем самым меняя расход воздуха в воздуховоде, повторяются все отсчеты и вычисления.

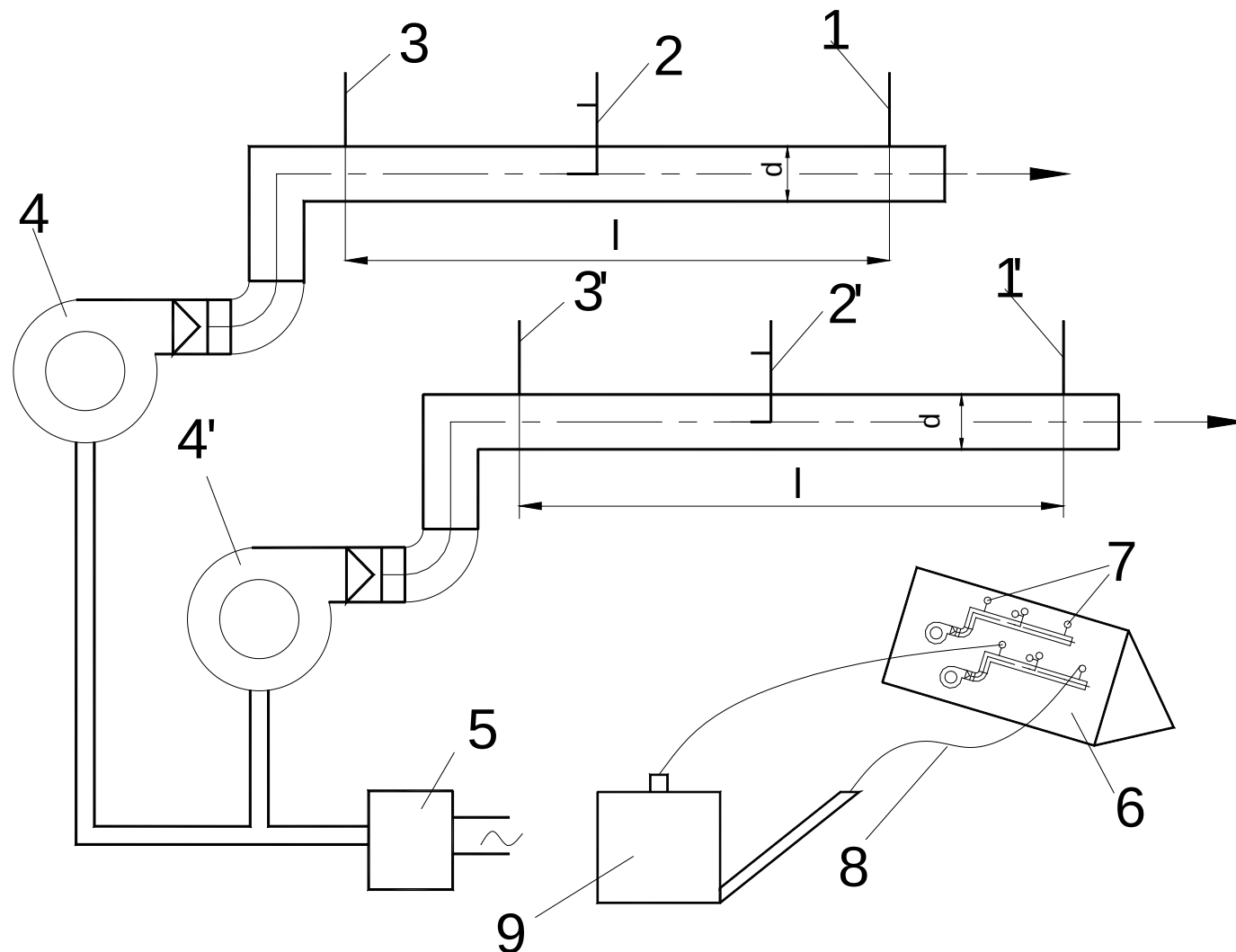


Рисунок 3.2 – Схема экспериментальной установки:

1, 1' – опытные воздуховоды; 2, 2' и 3, 3' – воздухомерные трубки; 4, 4' – вентилятор; 5 – автотрансформатор; 6 – измерительная панель; 7 – штуцеры панели; 8 – резиновые шланги; 9 – микрометр.

Таблица 3.1 – Определение коэффициента сопротивления трения воздуховодов

Тип возду- ховода	Но- мер замер- ра	Внутрен- ний диа- метр воз- духовода d, м	Длина участка воздухово- да l, м	Перепад давле- ний ΔP		Динамическое давление на оси воздуховода P_d		Скорость воздуха, м/с		Среднее динамиче- ское дав- ление P_d , Па	Коэффи- циент трения λ
				мм.накл.сп · ст.	Па	мм.накл.сп · ст.	Па	макси- маль- ная v_{max}	сред- няя v_{cp}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	0,015	1,53								
	2										
	1	0,009	1,53								
	2										

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ И РАСХОДА ВОЗДУХА АНЕМОМЕТРАМИ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

1 НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Цель работы: ознакомление студентов с методикой измерения скорости воздуха с помощью анемометров и определения расхода воздуха.

Задачи работы: изучение и практическое освоение методики измерения скорости воздушного потока с использованием различных типов анемометров.

В вентиляционных установках необходимо поддерживать заданные скорости движения воздуха, т.е. обеспечить подачу или удаление ими расчетных объемов воздуха при наименьших затратах. Поэтому, работу вентиляционных систем необходимо периодически контролировать по скорости, расходу и создаваемому давлению.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Скорость движения воздуха в воздуховодах, помещениях, приемных отверстиях местных отсосов, проемах и т.д. является одним из важнейших параметров, характеризующих работу вентиляционных систем.

В вентиляционной технике наиболее широкое распространение получили электротермоанемометры, крыльчатые и чашечные анемометры.

Термоанемометры предназначены для измерения температуры, скорости и направления воздушных потоков в лабораторных и промышленных условиях.

Измерение скорости воздушного потока термоанемометров основано на измерении температуры и сопротивления подогревного терморезистора, помещенного в поток, в зависимости от величины скорости потока.

При определении направления воздушного потока используется тепловое влияние подогревной обмотки на неподогревный терморезистор при направлении скорости от подогревного к неподогревному элементу. Для измерения температуры используется основное свойство терморезисторов – изменение сопротивления в зависимости от температуры окружающей среды.

В промышленных условиях наиболее широко применяются крыльчатые и чашечные анемометры.

Крыльчатые анемометры предназначены для измерения скорости воздушного потока в пределах от 0,3 до 5 м/с на уровне установки прибора. Приемной частью служит легкое крыльчатое колесо, насаженное на струнную ось. Колесо вращается под давлением проходящего через него воздуха. Порог чувствительности анемометра не выше 0,2 м/с. Крыльчатым анемометром можно пользоваться при температуре воздуха от -10 до $+50$ °С.

Ручной чашечный анемометр предназначен для измерения скорости воздуха от 1 до 20 м/с. Порог чувствительности – 0,8 м/с. Колесо этого прибора представляет собой крестообразно расположенные дужки, насаженные на ось и несущие на себе чашки в виде полушариев. В результате разности давлений на обе чашки, колесо анемометра приобретает вращательное движение.

Показания чашечного и крыльчатого анемометров читаются по трем циферблатам и составляют четырехзначное число. При измерении стрелка на циферблате указывает число оборотов колеса, выражающее условную длину пути, пройденного воздушным потоком.

Для определения скорости необходимо одновременно вести учет времени секундомером.

Разность показаний, отнесенная ко времени измерения, дает скорость анемометра, которая определяется по выражению:

$$v_{ан} = \frac{m - n}{\tau} \quad (2.1)$$

где $v_{ан}$ – скорость анемометра – число делений в секунду; m, n – соответственно конечное и начальное показания анемометра; τ – время замера, с.

Скорость воздушного потока находится по значению скорости анемометра по паспорту, имеющемуся у каждого прибора.

Паспорт дается в виде таблиц или графиков. Для каждого анемометра используется свой график, полученный по результатам его тарирования. Точность измерения в большой степени зависит от одновременности включения и выключения счетного механизма прибора и секундомере.

Существуют методы измерений скорости: обмер «по точкам» и «обводом сечения» (рис. 2.1)

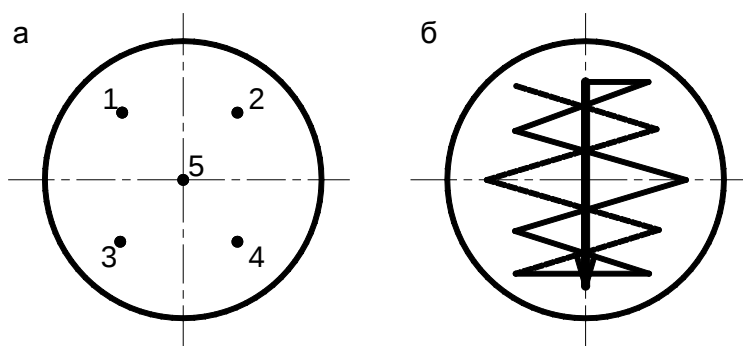


Рисунок 2.1 – Схема положения анемометра при измерении средней скорости:
а – измерение «по точкам», б – обводом сечения.

Расход воздуха в данном сечении в м³/ч определяется по формуле

$$L = 3600 \cdot F \cdot v_{cp}, \quad (2.2)$$

где F – площадь данного сечения, м^2 ; v_{cp} – средняя скорость воздуха в сечении, м/с .

3 ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ

3.1 Включается вентилятор, устанавливается анемометр: крыльчатый так, чтобы ось колеса совпадала с направлением движения воздуха, т.е. крыльчаткой навстречу потоку; чашечный – чтобы ось была перпендикулярна потоку.

3.2 Берется начальный отсчет по анемометру.

3.3 Анемометр помещается в воздушный поток, через 10–15 с, когда крыльчатка анемометра начнет вращаться с постоянной скоростью, включается счетный механизм и одновременно секундомер. Измерение производится методом обвода сечения, в течение 100 с.

3.4 Через 100 секунд, не вынимая анемометр из потока, выключаются счетный механизм и секундомер. Берется конечный отсчет по анемометру.

Результаты измерений заносятся в таблицу 3.1, определяется скорость анемометра $v_{ан}$, затем по графику определяется действительная скорость воздушного потока.

Измерение производится 3 раза, а затем выводится среднеарифметический результат.

Таблица 3.1 – Определение скорости и расхода воздуха

Тип анемометра	Номер опыта	Показания анемометра		Разность отсчетов $m-n$	Время измерения τ , сек	Скорость анемометра $v_{ан}$	Величина тока измерения I , мА	Скорость воздуха v , м/с	Средняя скорость воздуха v_{cp} , м/с	Площадь сечения F , м^2	Расход воздуха L , $\text{м}^3/\text{ч}$
		до измерения n	после измерения m								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Чашечный	1										
	2										
	3										
Крыльчатый	1										
	2										
	3										
Термоанемометр	1										
	2										
	3										

3.5 Измерение скорости воздушного потока термоанемометром производится в следующем порядке:

- а) расположить прибор горизонтально, подключить внешний источник питания через специальные клеммы и в гнездо разъема подключить датчик;
- б) вынуть из пенала, подключить и установить датчик в зоне измерения;
- в) переключатель П2 включить в положение «А»;
- г) переключатель П1 остановить в положение «контроль» и ручкой «регулирование напряжения» установить стрелку измерителя на максимальное деление шкалы;
- д) переключатель П1 переключить в положение «измерение» и плавным поворотом ручки «регулирование подогрева» вывести стрелку прибора на максимальное деление шкалы. Датчик должен быть закрыт футляром и расположен горизонтально;
- е) сдвинуть защитный футляр, поместить датчик в измеряемый поток;
- ж) произвести отсчет тока измерителя.

3.6 По градуировочной зависимости, имеющейся в паспорте анемометра, определяется величина скорости. (рис 3.1.).

3.7 Измерение производится 3 раза, а затем выводится среднеарифметический результат.

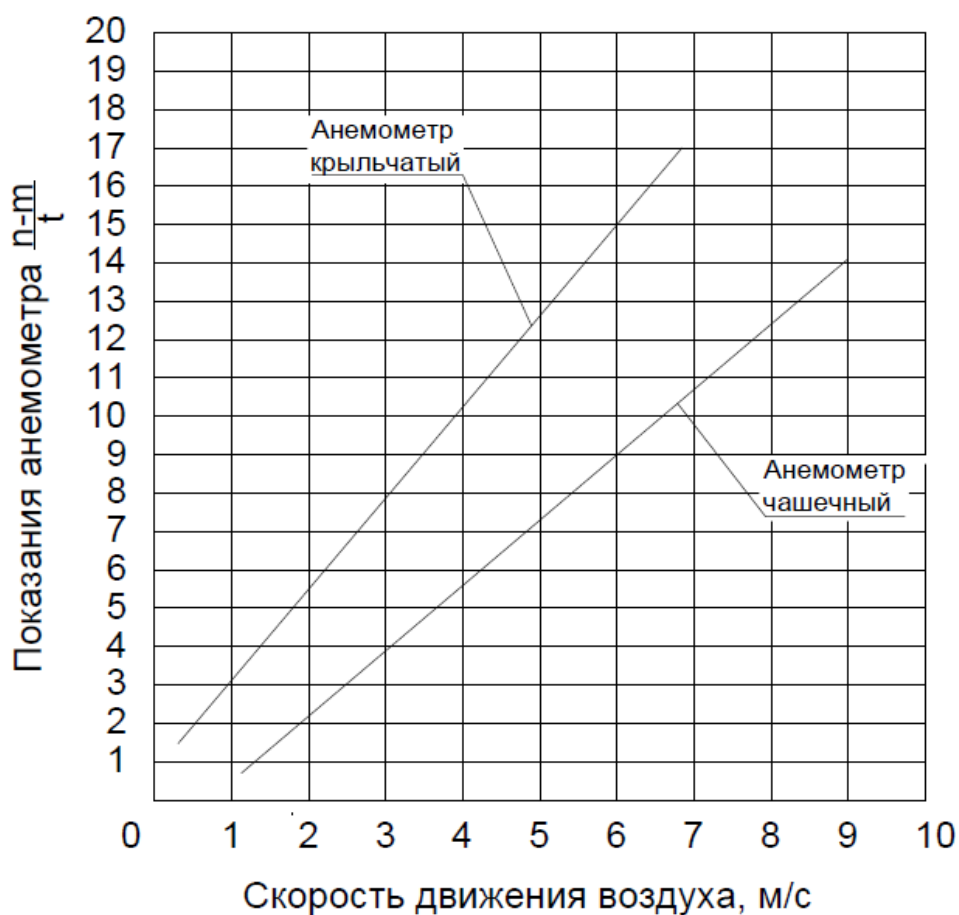


Рисунок 3.1 – Градуированная зависимость (из паспорта анемометра)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЙ В ВОЗДУХОВОДЕ

1 НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Цель работы: ознакомление студентов с методикой измерения и расчета основных параметров воздушного потока в воздуховоде: давления, осевой скорости и расхода воздуха. Определение этих параметров имеет большое значение для наладки и контроля за эффективностью работы вентиляционных установок.

Задачи работы: изучение и практическое освоение методики измерения и расчёта ключевых параметров воздушного потока в воздуховоде.

Каждая вентиляционная установка должна работать в заданном наиболее экономичном режиме. При этом воздуховод должен обладать требующейся пропускной способностью. Скорость перемещаемого по нему воздуха не должна отличаться от допустимой, а суммарная потеря давления на преодоление сопротивления трения и местных сопротивлений не должна превышать располагаемого давления вентилятора.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

При движении воздуха в вентиляционном воздуховоде возникают полное, статическое и динамическое давления.

Статическое давление $P_{ст}$ представляет собой проявление потенциальной энергии потока и действуют по всем направлениям.

Динамическое (или скоростное) давление P_d представляет собой проявление кинетической энергии потока и действует всегда в направлении движения воздуха.

Динамическое давление, в Па, связано со скоростью движения воздуха следующей зависимостью:

$$P_d = \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad (2.1)$$

где v – скорость движения воздуха, м/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Сумма статического и динамического давления называется полным давлением, в Па, т.е.

$$P_{\text{п}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{д}} \quad (2.2)$$

Измеряемые в воздуховоде статические давления бывают больше или меньше атмосферного. При этом динамическое давление всегда имеет положительное значение. На участках воздухопроводов, работающих на всасывание, полное и статическое давление всегда отрицательное.

На участках воздуховода, работающих на нагнетание, статическое давление положительно.

Измерение всех видов давления производится при помощи пневмометрической трубки в сочетании с микроманометром.

Максимальная скорость воздушного потока v_{max} , м/с, рассчитывается по формуле:

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{д}}}{\rho}} \quad (2.3)$$

где $P_{\text{д}}$ – замеренное максимальное значение динамического давления на оси воздуховода. Па; ρ – плотность воздуха в условиях опыта, кг/м³.

В данной работе производится измерение максимальной скорости воздушного потока в центре поперечного сечения воздуховода, а средняя скорость потока, м/с, вычисляется по формуле:

$$v_{\text{ср}} = k_{\text{n}} \cdot v_{\text{max}} \quad (2.4)$$

где k_{n} – коэффициент поля скорости воздушного потока (для турбулентного режима движения $k_{\text{n}} = 0,85$, для ламинарного – 0,5).

Количество воздуха, проходящего по воздуховоду L , м³/ч, равно:

$$L = 3600 \cdot v_{\text{ср}} \cdot F \quad (2.5)$$

где F – площадь поперечного сечения воздуховода, м².

3 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Установка состоит из вентилятора 8 (пылесоса), всасывающего 6 и нагнетательного 7 воздухопроводов, микроманометра 10 и воздухомерной трубки 5, 5'. Микроманометр 10 подключается к воздухомерной трубке по одной из представленных схем на рис. 4.2–4.4. Каждая схема соответствует измерению соответствующего давления воздуха (динамического, статического и полного).

На воздуховодах установлены трубки 1, 2, 3, 4, 1', 2', 3', 4', служащие для измерения статических давлений в различных сечениях воздухопроводов, и воздухомерные трубки 5 и 5' (рис. 4.5).

Наконечники воздухомерных трубок установлены по оси воздухопроводов. Поэтому замер динамического давления, а следовательно, и скорости потока $v_{\max}$ производится в центре поперечного сечения воздухопроводов.

4 ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ

4.1 Проводится ознакомление с экспериментальной установкой.

4.2 Изучаются методические указания к данной работе, и заготавливается журнал для записи результатов измерений.

4.3 Измеряется температура воздуха и барометрическое давление в помещении.

4.4 Микроманометр с помощью уровней выводится в горизонтальное положение, уровень спирта в наклонной трубке устанавливается на нулевое деление.

4.5 С помощью резиновых шлангов микроманометр подключается к воздухомерным трубкам, расположенным на измерительной панели (по схеме рис. 4.2) и измеряется статическое давление в точках 1, 2, 3, 4 всасывающего воздухопровода в мм. накл. спиртового столба, которое пересчитывается в Па.

4.6 Измеряется статическое, динамическое и полное давление воздуха в точке 5 (по схеме рис. 4.3).

4.7 Измерения повторяются для нагнетательного воздухопровода в точках 1', 2', 3', 4' (по схеме рис. 4.4) и в точке 5' (по схеме рис. 4.3).

Коэффициент наклона трубки микроманометра при замерах на всасывающем и нагнетательном воздухопроводах задается преподавателем.

4.8 Подсчитывается максимальная и средняя скорость потока, а также расход воздуха для всасывающего и нагнетательного воздухопроводов.

4.9 Результаты замеров и вычислений записываются в таблицу 4.1.

4.10 Строятся графики изменения статического давления по длине всасывающего и нагнетательного воздухопроводов (рис. 4.1), и делаются выводы по работе.

Таблица 4.1 – Основные параметры воздушного потока

Параметры воздуха в помещении			Режим работы воздуховода	Номер точки замера	Коэффициент наклона трубки манометра	Давление воздуха						Размеры воздуховода		Скорость воздуха, м/с		Расход воздуха L, м³/ч		
Барометрическое давление P _{бар} , мм.рт.ст.	Температура воздуха t, °C	Плотность воздуха ρ, кг/м³				Статическое P _{ст}		Динамическое P _д		Полное P _п		Диаметр d, м	Площадь поперечного сечения F, м²	максимальная v _{max}	средняя v _{ср}			
						мм.накл.сп.ст.	Па	мм.накл.сп.ст.	Па	мм.накл.сп.ст.	Па							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
			Всасывание	1								0,009	0,000063					
				2														
				3														
				4														
				5														
			Нагнетание	1								0,009	0,000063					
				2														
				3														
				4														
				5														

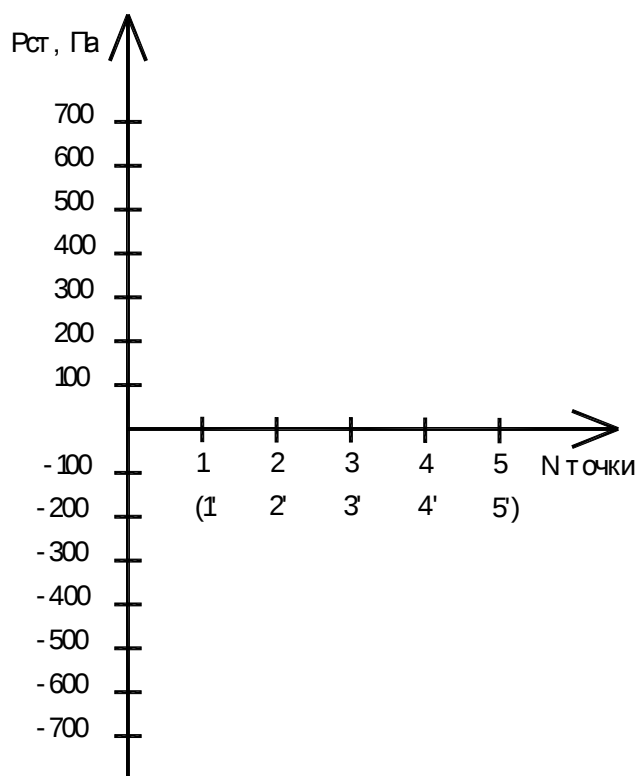


Рисунок 4.1 – График изменения статического давления по длине воздухопроводов

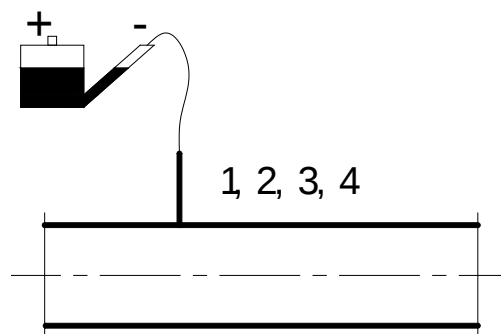


Рисунок 4.2 – Схема измерения статического давления во всасывающем воздуховоде.

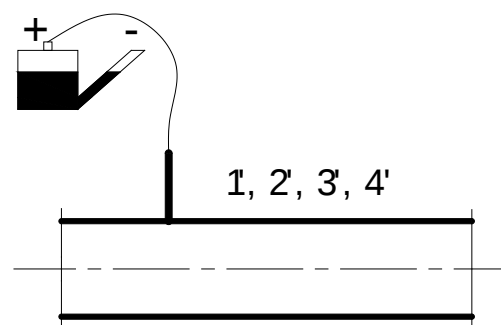


Рисунок 4.3 – Схема измерения статического давления в нагнетательном воздуховоде.

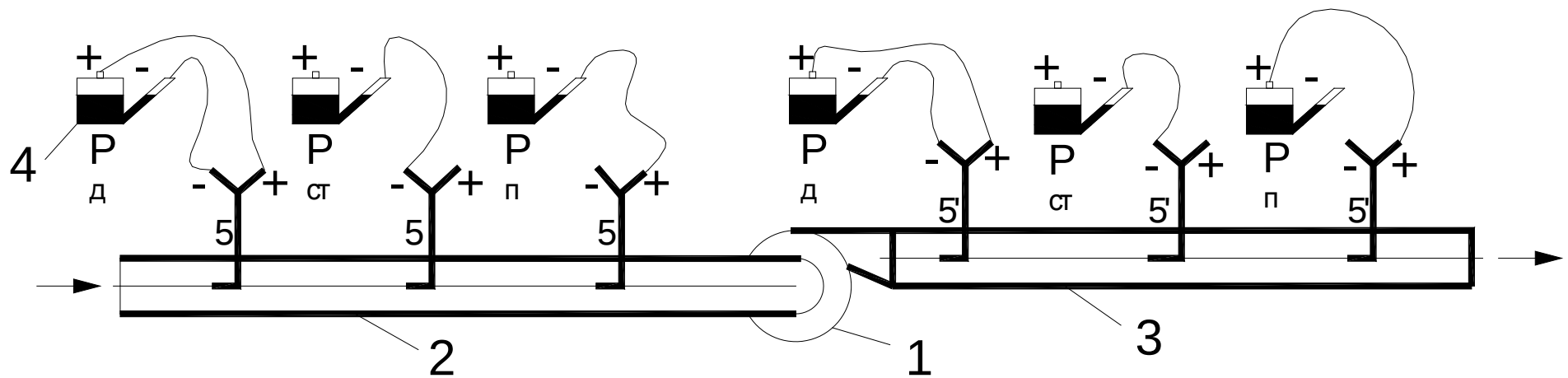


Рисунок 4.4 – Схема присоединения микроманометра к воздухомерной трубке:
 1 – вентилятор; 2 – всасывающий воздуховод; 3 – нагнетательный воздуховод; 4 – микроманометр; 5, 5' – воздухомерные трубки.

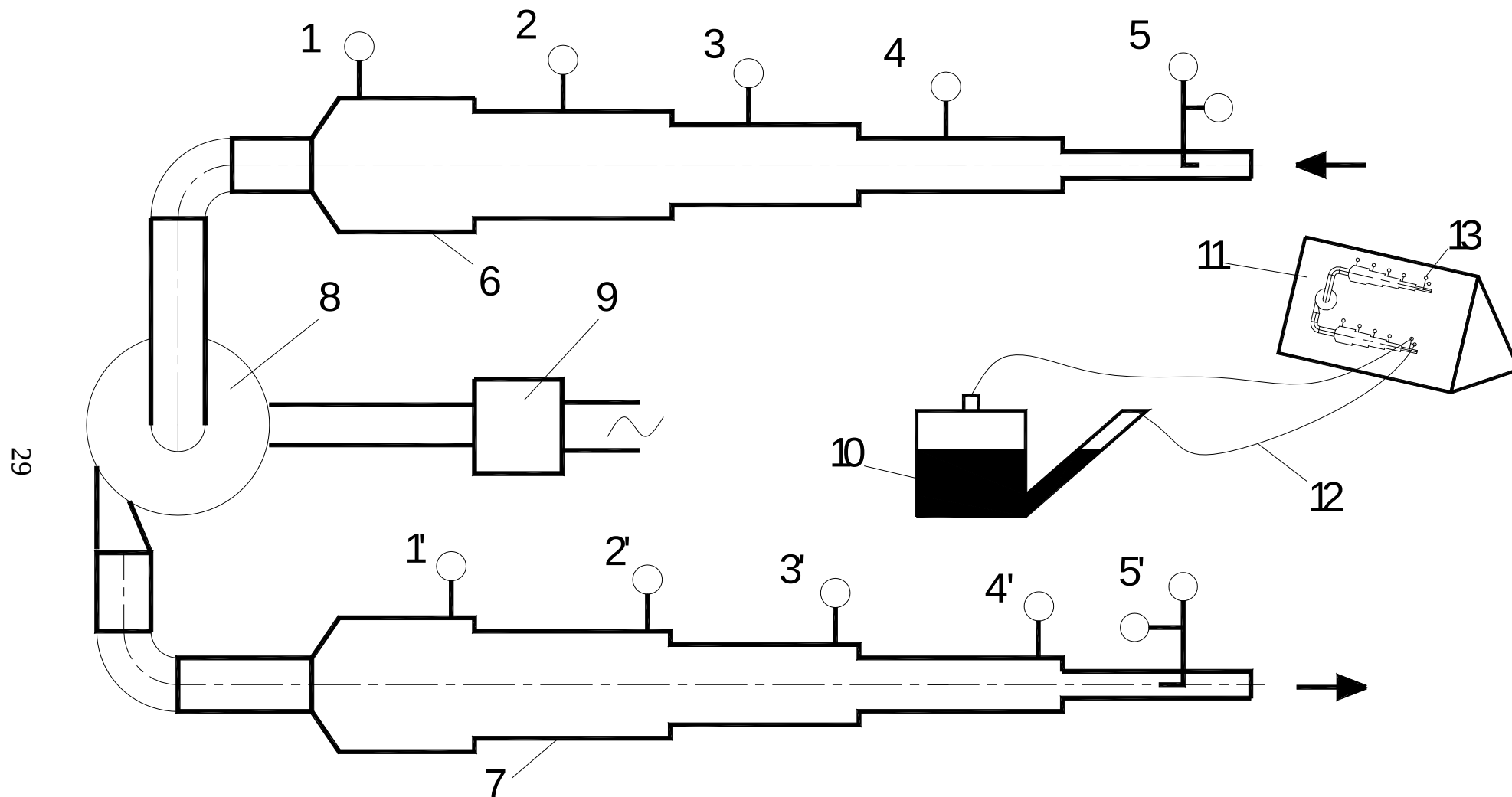


Рисунок 4.5 – Схема экспериментальной установки:

1, 2, 3, 4, 1', 2', 3', 4' – трубки статических давлений; 5, 5' – воздухомерные трубки; 6 – всасывающий воздуховод; 7 – нагнетательный воздуховод; 8 – вентилятор; 9 – автотрансформатор; 10 – микроманометр; 11 – измерительная панель; 12 – резиновые шланги; 13 – штуцеры панели.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПОМЕЩЕНИИ

1 НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Цель работы изучение и применение на практике методики измерения ключевых параметров воздуха, таких как температура, относительная влажность и плотность.

Задача работы: входит ознакомление студентов с методикой измерения температуры, относительной влажности и плотности воздуха, а также составление заключения о соответствии этих измеренных параметров воздуха нормативным требованиям.

Состояние воздуха определяется температурой, влажностью, давлением и характеризуется подвижностью и плотностью. От этих важнейших факторов зависит комфортность условий для работы и отдыха людей.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Количество влаги, содержащейся в воздухе, характеризуется тремя величинами: абсолютной влажностью, относительной влажностью и влагосодержанием.

Абсолютной влажностью D называется масса водяного пара в г, содержащегося в 1 м^3 влажного воздуха.

Относительной влажностью воздуха называется отношение парциального давления водяного пара во влажном воздухе P_n к парциальному давлению водяного пара при той же температуре и полном его насыщении P_n , т.е.

$$\varphi = \frac{P_n}{P_n} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

Влагосодержанием воздуха d , г/кг. сух. возд., называется масса водяного пара, содержащегося во влажном воздухе, сухая часть которого имеет массу 1 кг. Оно определяется по формуле:

$$d = \frac{\varphi \cdot P_n}{P_6 - \varphi \cdot P_n} \quad (2.2)$$

где P_6 – барометрическое давление воздуха, мм рт. ст.

Если воздух охлаждать при постоянном влагосодержании, то его относительная влажность будет увеличиваться. В тот момент, когда воздух будет

насыщен водяным паром, его относительная влажность достигнет 100 %. На низшая температура, до которой можно охладить воздух при постоянном влагосодержании, называется точкой росы. Дальнейшее понижение температуры воздуха вызовет конденсацию водяного пара.

Температура водяного пара, находящегося во влажном воздухе с относительной влажностью менее 100%, выше температуры насыщенного пара. Следовательно, при $\phi < 100\%$, водяной пар во влажном воздухе находится в перегретом состоянии.

Плотность влажного воздуха в кг/м^3 определяется из выражения

$$\rho_v = \frac{353}{T} - \frac{1,32 \cdot 10^{-3} \cdot \phi \cdot P_n}{T} \quad (2.3)$$

где ϕ – замеренная относительная влажность воздуха в долях единицы;
 P_n – парциальное давление насыщенного пара при температуре воздуха $T^\circ\text{К}$, Па;

$$P_n = 479 + (11,52 + 1,62 \cdot t)^2 \quad (2.4)$$

где T и t – абсолютная температура воздуха в помещении по сухому термометру в $^\circ\text{К}$ и температура воздуха в $^\circ\text{С}$.

3 ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Для измерения относительной влажности воздуха применяют специальные приборы – психометры. Действие их впервые было объяснено членом Российской Академии наук РИХМАНОМ. Один из более совершенных из этих приборов является аспирационный психометр. Этот прибор состоит из двух одинаковых ртутных термометров, укрепленных в пластмассовой или металлической оправе. Резервуары термометров помещены в двойную защиту, предохраняющую термометры от внешнего теплового излучения. С этой целью наружная поверхность трубок тщательно полируется и никелируется, а сами трубки изолируются одна от другой теплоизоляционными кольцами.

Трубки соединены тройником с воздухопроводной трубкой, на верхнем конце которой укреплена аспирационная головка, закрытая колпаком. Аспирационная головка состоит из вентилятора, заводящегося при помощи ключа пружинного заводного механизма.

С боков термометры защищены от механических повреждений металлическими планками. Резервуар одного из термометров обернут батистом в один слой, который перед измерением должен смачиваться дисцилированной водой при помощи резиновой груши с пипеткой.

При необходимости психрометр можно подвесить. Для защиты вентилятора психрометра от большой скорости окружающего воздуха, в комплект прибора входит специальный щиток. При работе вентилятора в прибор засасывается воздух, который, обтекая резервуары термометров, проходит по воздухопроводной трубке к вентилятору и выбрасывается им наружу через прорези. Резервуары термометров в момент измерения находятся в воздушном потоке, движущимся с определенной скоростью (2 м/с), постоянной при любых условиях измерения. Поэтому подвижность воздуха в помещении практически не влияет на показания психрометра.

Технические данные прибора:

цена деления термометров 0,2 °С;

пределы шкалы термометров: нижний от –31 до –25 °С, верхний +51 °С;

диапазон измерения относительной влажности от 10 до 100 % при температуре окружающей среды от –10 до +40 °С;

время действия завода механизма вентилятора 8–10 мин;

скорость воздуха у резервуаров термометров, создаваемая вентилятором, не менее 2 м/с на 2-ой минуте и не менее 1,7 м/с на 6-ой минуте его работы.

Определение относительной влажности по показаниям психрометра основано на том, что интенсивность испарения влаги с поверхности резервуара мокрого термометра зависят от степени насыщенности окружающего воздуха водяным паром.

Чем меньше степень насыщения, тем больше испаряется воды и больше тепла отнимается от резервуара мокрого термометра, тем больше психрометрическая разность температур по сухому и мокрому термометрам ($t_c - t_m$).

Определение относительной влажности воздуха по показаниям аспирационного психрометра производится по специальному психрометрическому графику или по I-d диаграмме.

Показания психрометра следует снимать на 4-ой минуте после завода механизма вентилятора.

Нельзя дотрагиваться до резервуара термометра руками и дышать на него, так как показания при этом искажаются. Психрометр следует устанавливать на высоте 1,5–1,6 м от пола в отдалении от холодных ограждений, оборудования, излучающего тепло, и вне зоны, освещенной солнечными лучами. Резервуары термометров должны свободно омываться воздухом. При выполнении замеров психрометр переносить только со штативом.

4 ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ

4.1 Барометром измеряется барометрическое давление воздуха, величина которого записывается в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Параметры воздуха в помещении

Номер опыта	Показания барометра P_b , мм.рт.ст.	Показания термометров психрометра, °C		Относительная влажность воздуха ϕ , %	Давление насыщенного пара P_n , Па	Плотность воздуха ρ_v , кг/м ³
		сухого t_c	мокрого t_m			
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						

4.2 Смачивается батист на резервуаре мокрого термометра аспирационного психрометра, который должен находиться в вертикальном положении на штативе. Для этого берут резиновый баллон с пипеткой, наполняют водой и вводят его до отказа в трубку с мокрым термометром. Примерно через 10 секунд, не вынимая пипетки из трубки, разжимает зажим, излишняя вода поступает в баллон. Затем пипетка вынимается.

4.3 Заводится вентилятор почти до отказа, но чтобы не сорвать пружину.

4.4 На четвертой минуте после пуска производится отсчет по термометрам.

4.5 По психрометрическому графику аспирационного психрометра или по I-d диаграмме находится относительная влажность воздуха.

4.6 По формуле (2.4) определяется давление насыщенного пара. Затем по формуле (2.3) подсчитывается величина плотности воздуха.

4.7 Опыты повторяют в нескольких точках помещения.

4.8 На основании данных измерений составляется заключение о соответствии температуры и относительной влажности воздуха в помещении нормативным требованиям, а также дается характеристика распределения этих параметров по помещению.

4.9 Вычерчивается схематичный план помещения с нанесением точек замеров.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВИТАНИЙ ЧАСТИЦ РАЗЛИЧНЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

1 НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Цель работы: ознакомление с методикой экспериментального определения и получение величины скорости витания частиц различных фракций сыпучих материалов.

Задачи работы: применение методики экспериментального определения скорости витания частиц для различных фракций сыпучих материалов.

Скорость витания частиц различных сыпучих материалов используется для определения рабочей скорости, необходимой для перемещения материала в установках пневмотранспорта и аспирации.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Скорость воздушного потока, при которой частица находится во взвешенном состоянии или в состоянии безразличного равновесия, называется скоростью витания.

Любая твердая частица может находиться во взвешенном состоянии при условии равенства веса частицы силам, возникающим при движении воздушного потока, и действующим на частицу, в направлении, снизу вверх (рис. 2.1).

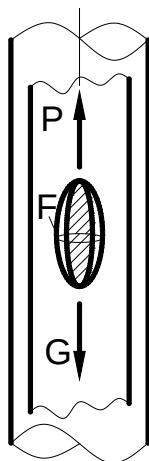


Рисунок 2.1 – Движение твердой частицы в вертикальном воздушном потоке

При этом имеем равенство:

$$G = P \tag{2.1}$$

где G – вес частицы, Н; P – сила, действующая на частицу в направлении снизу вверх под воздействием воздушного потока, Н.

Эта сила действия движущегося воздуха может быть определена из выражения:

$$P = k \cdot F \cdot \rho_B \cdot v_s^2 \quad (2.2)$$

где k – безразмерный коэффициент пропорциональности; F – площадь миделевого сечения частицы, м^2 ; ρ_B – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; v_s – скорость витания частицы, $\text{м}/\text{с}$.

В свою очередь скорость витания с учетом (2.1) равна, $\text{м}/\text{с}$:

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{k \cdot F \cdot \rho_B}} \quad (2.3)$$

Установлено, что коэффициент k зависит от скорости движения воздуха и частицы, от формы частицы и от свойств воздуха. Предположим, что частица имеет форму шара с весом $G = \frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}^3}{6} \cdot \rho_{\text{ш}}$ и площадью миделевого сечения $F = \frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}^2}{4}$, подставив эти значения величин в формулу (2.1), с учетом (2.2) получим $\frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}^3}{6} \cdot \rho_{\text{ш}} = k \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}^2}{4} \cdot v_s^2 \cdot \rho_B$. Для воздуха стандартные параметры $k = 0,5$ и $\rho_B = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$. Поэтому скорость витания частицы шарообразной формы будет равна:

$$v_s = 4,7 \cdot \sqrt{d_{\text{ш}} \cdot \rho_{\text{ш}}} \quad (2.4)$$

где $d_{\text{ш}}$ – диаметр шарообразной частицы, м; $\rho_{\text{ш}}$ – плотность ее материала, $\text{кг}/\text{м}^3$.

3 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Экспериментальная установка для определения скорости витания (рис. 3.1) состоит из прозрачной стеклянной трубки 1, на входе которой установлен коллектор 2 (для получения равномерного поля скоростей в трубке). Движение воздуха в трубке 1 с различными скоростями обеспечивается вентилятором 3, включенным в сеть через регулятор напряжения 4.

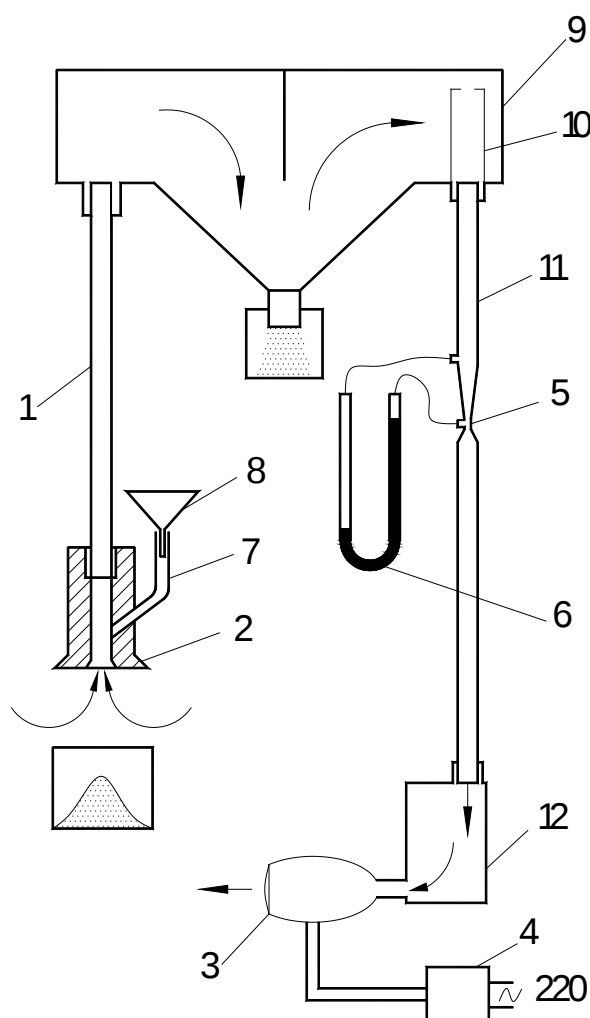


Рисунок 3.1 – Схема экспериментальной установки:

1 – стеклянная трубка; 2 – входной коллектор; 3 – вентилятор; 4 – регулятор напряжения; 5 – трубка Вентури; 6 – U-образный манометр; 7 – точка; 8 – воронка; 9 – переходник с бункером; 10 – сетка; 11 – воздуховод; 12 – коллектор.

Для определения расхода воздуха в стеклянной трубке в экспериментальной установке предусмотрена специальная трубка Вентури 5 с U-образным манометром 6. За счет суженной части в этой трубке образуется разность давлений воздуха ΔP , зависящая от объема проходящего воздуха. Следовательно $L = f(\Delta P)$, $v_{cp} = f(\Delta P)$.

Эти величины берутся по тарировочному графику воздухомерной трубки Вентури.

4 ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ

4.1. Твердый сыпучий материал разделяется с помощью набора сит по фракциям.

4.2. В трубу витания при включенном вентиляторе вводится материал фракции, для которой требуется определить скорость витания.

4.3. Определяется, при каком напряжении тока материал витает в трубе, снимается показание по U-образному манометру и заносится в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Определение скорости витания сыпучих материалов

Номер замера	Фракция сыпучего материала $d_{\text{фр}}$, мм	Плотность фракции сыпучего материала $\rho_{\text{фр}}$, кг/м ³	Напряжение в сети U, В	Показания по U-образному манометру ДР, Па	Расход воздуха L , м ³ /с	Скорость витания x_s , м/с	
						экспериментальная	теоретическая
1	2	3	4	5	6	7	8

4.4. По тарировочному графику определяется секундный расход воздуха через трубку Вентури и средняя скорость воздуха в стеклянной трубке (скорость витания частиц).

4.5. Изменяя напряжение в сети и тем самым, изменяя расход воздуха в трубке, повторяются все отсчеты для других фракций сыпучего материала.

4.6. Опыты повторяются для фракций других сыпучих материалов.

4.7. Строятся графики изменения скорости витания частиц v_s в зависимости от среднего размера фракций различных сыпучих материалов рассчитывается теоретическая скорость витания частиц по формуле (2.4) и сравнивается с экспериментальной.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Новиков, Ю. В. Техническая эксплуатация зданий и сооружений : курс лекций / Ю. В. Новиков. – Витебск : УО «ВГТУ», 2018. – 108 с.
2. Сизов, В. Д. Организация, планирование инженерных систем. Управление их производством : учебное пособие / В. Д. Сизов, Ю. А. Станецкая. – Минск : Вышэйшая школа, 2021. – 352 с.

Дополнительная литература

3. Богословский, В. Н. Отопление и вентиляция : учебник для студентов вузов / В. Н. Богословский, В. П. Щеглов, Н. Н. Разумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Строй. издат, 1980. – 296 с.
4. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Справочник проектировщика. – Москва : Стройиздат, 1978. – 509 с.
5. Каледина, Н. О. Вентиляция производственных объектов : учебное пособие для вузов / Н. О. Каледина. – 3-е изд., стер. – Москва : МГГУ, 2007. – 193 с.
6. Сотников, А. Г. Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха / А. Г. Сотников. – Санкт-Петербург : Береста, 2013. – Т. 1. – 423 с.
7. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование : учебное пособие / Б. М. Хрусталева, В. М. Копко, В. П. Пилюшенко и др.; под ред. Б. М. Хрусталева. – Минск : Дизайн ПРО, 1997. – 384 с.
8. Тихомиров, К. В. Общая теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция : учебник для вузов. – Москва : Стройиздат, 1969. – 288 с.

Нормативные документы

9. СН 4.02.03-2019. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Взамен СНБ 4.02.01-03; введ. 2019-12-16. Переиздание (январь 2025) с Изменением № 1; введ. 2025-02-12. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь ; Минск : Минстрой архитектуры, 2024. – 47 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Методика перевода замеренного в миллиметрах наклонного спиртового столба давления воздуха в паскали

Разность отсчетов по шкале микроманометра имеет размерность мм наклонного спиртового столба, которая переводится в Па с помощью выражения:

$$P = b \cdot k \cdot g \cdot \frac{\rho_o}{\rho} \cdot \Delta \cdot \delta \cdot \theta$$

где b – разность отсчетов по шкале микроманометра, мм. накл. сп. ст.;
 k – коэффициент наклона шкалы микроманометра, значение которого считывается с дугообразного фиксатора прибора; $K = 0,4$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $\frac{\rho_o}{\rho} = \frac{P_o \cdot (273+t)}{P_o \cdot (273+t_o)}$; $\frac{\rho_o}{\rho}$ – поправка на плотность воздуха в нестандартных условиях опыта ($\rho_o = 1,293 \text{ кг/м}^3$); t, P_o – температура воздуха и барометрическое давление в условиях опыта соответственно, °С и мм. рт. ст.; (22 °С, 770 мм рт. ст.) $t_o = 20^\circ \text{C}, P_o = 760 \text{ мм рт. ст.}$ – температура воздуха и барометрическое давление при нормальных условиях соответственно;
 $\Delta = \frac{\rho_{сп}}{0,8095}$; Δ – поправка на плотность спирта; $\rho_{сп}$ – плотность спирта в условиях опыта, г/м³; (0,8095 г/м³); $\delta = 0,98$ – поправочный коэффициент микроманометра; $\theta = 1,01$ – поправочный коэффициент воздухомерной трубки.

Учебное издание

ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Составители:

Жерносек Сергей Васильевич
Тимонов Иван Афанасьевич
Рудаков Святослав Андреевич

Корректор *А.С. Прокопюк*
Компьютерная верстка *С.А. Рудаков*

Подписано к печати 07.07.2025. Формат 60х90¹/₁₆. Усл. печ. листов 2,5.
Уч.-изд. листов 3,4. Тираж 30 экз. Заказ № 133.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017