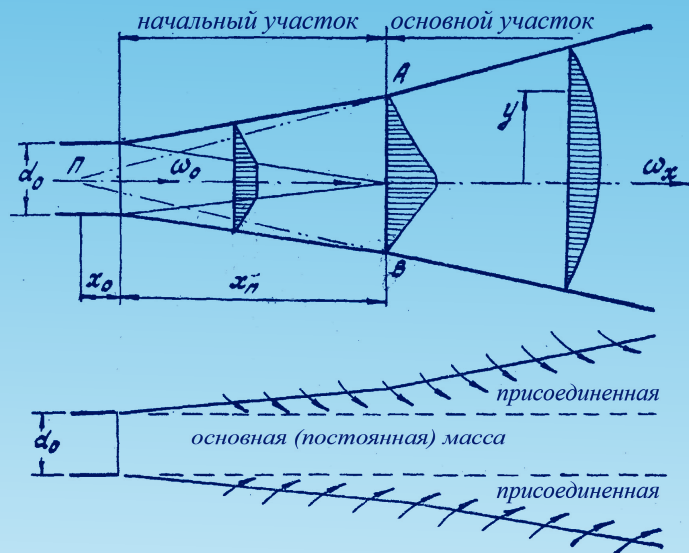


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Архитектурно-строительный институт  
Кафедра «Теплогасоснабжение, вентиляция,  
водоснабжение и водоотведение»

Е.А. Усманова

# ВЕНТИЛЯЦИЯ И ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

Лабораторный практикум



УДК 697.921; 697.922

ББК 31.76

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент кафедры отопления и вентиляции  
Нижегородского государственного архитектурно-строительного  
университета *Е.С. Козлов*;

канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение,  
вентиляция, водоснабжение и водоотведение» Тольяттинского  
государственного университета *О.А. Сизенко*.

Научный редактор

кандидат технических наук, доцент М.Н. Кучеренко

---

Усманова, Е.А. Вентиляция и вентиляционные установки : лабора-  
торный практикум / Е.А. Усманова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2017. –  
1 оптический диск.

В практикуме для каждой лабораторной работы описаны ее  
цель, краткие теоретические сведения, план проведения, исполь-  
зуемое оборудование и материалы, алгоритм проведения экспери-  
мента, обработки экспериментальных данных, анализ результатов  
эксперимента, требования к составлению заключения, требования  
к технике безопасности, форма отчёта о лабораторной работе.

Предназначен для студентов направления подготовки бакалавра  
270800.62 (08.03.01) «Строительство» всех форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый  
компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПИИ 500 МГц или эквивалент;  
128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

---

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2017

Редактор *Т.Д. Савенкова*  
Технический редактор *Н.П. Крюкова*  
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*  
Художественное оформление,  
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

---

Дата подписания к использованию 12.09.2017.

Объем издания 1,19 Мб.

Комплектация издания:

компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-35-16.

---

Издательство Тольяттинского государственного университета  
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,  
тел. 8 (8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)

## Содержание

Лабораторная работа 1. Исследование спектра всасывания воздуха зонтичного укрытия .....	5
Лабораторная работа 2. Исследование приточного воздушного потока при истечении из отверстия, закрытого регулируемой решеткой .....	12
Лабораторная работа 3. Определение коэффициентов местных сопротивлений на всасывании .....	20
Лабораторная работа 4. Исследование приточной круглой изотермической свободной струи .....	31
Библиографический список .....	39

## Лабораторная работа 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ВСАСЫВАНИЯ ВОЗДУХА ЗОНТИЧНОГО УКРЫТИЯ

**Цель** – изучить устройство крыльчатого анемометра и методику количественной оценки им воздушных потоков в зоне действия всасывающего зонтичного укрытия.

Закономерности образования всасывающих факелов используются при расчете местной вытяжной вентиляции в производственных помещениях. Зоны действия приточного и всасывающего факелов резко отличаются друг от друга. Это объясняется тем, что у всасывающего спектра воздух подтекает к отсосу со всех сторон и в непосредственной близости от кромок зонта.

Всасывающая струя не направлена вдоль оси всасывающего зонта: скорость воздуха уменьшается по мере удаления от всасывающего отверстия. Структура факела у зонта показана на рис. 1.1. Кривые представляют собой геометрическое место точек одинаковых скоростей, а линии, перпендикулярные кривым равных скоростей, указывают направление движения потока.

Имеется следующая зависимость изменения осевых скоростей всасывающих факелов:

$$\frac{\omega_y}{\omega_0} = \frac{1}{1 + K \left( \frac{y}{\sqrt{F}} \right)^{1,4}}, \quad (1.1)$$

где  $\omega_y$  – осевая скорость всасывающего факела на расстоянии  $y$  от плоскости всасывающего отверстия зонта, м/с;  $\omega_0$  – средняя скорость в сечении ( $x-x$ ) всасывающего зонта, м/с;  $y$  – расстояние от плоскости всасывающего отверстия зонта, м;  $F$  – площадь поперечного сечения зонта, м<sup>2</sup>;  $K$  – опытный коэффициент для зонтов круглого сечения,  $K = 7,7$ .

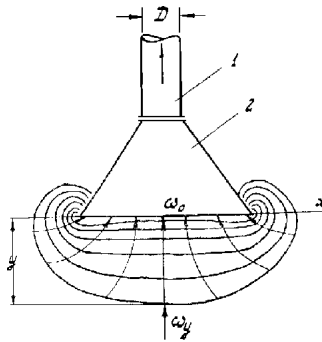


Рис. 1.1. Структура всасывающего факела зонтичного укрытия:  
 1 – всасывающий патрубок; 2 – зонтичное укрытие

### Последовательность выполнения работы

1. Ознакомление с экспериментальным стендом и видами зонтичных укрытий.
2. Изучение устройства крыльчатого анемометра.
3. Изучение и освоение алгоритма проведения эксперимента.
4. Включение экспериментальной установки в работу и опробование работы анемометра и секундомера.
5. Ориентировочное определение границы факела всасывания.
6. Производство замеров скоростей потока в зафиксированных точках капроновой сетки.
7. Обработка результатов эксперимента.
8. Построение факела всасывания на миллиметровой бумаге.
9. Заключение по результатам работы.
10. Оформление отчёта.

### Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 1.2) состоит из всасывающей ветви круглого стального воздуховода 1 диаметром 300 мм. На отводящих патрубках смонтированы зонтичные укрытия 2 с различными углами раскрытия. Количество засасываемого в укрытие воздуха регулируется шиберными задвижками 4. Удаление воздуха местным отсосом (зонтичным укрытием) осуществляется радиальным вентилятором.

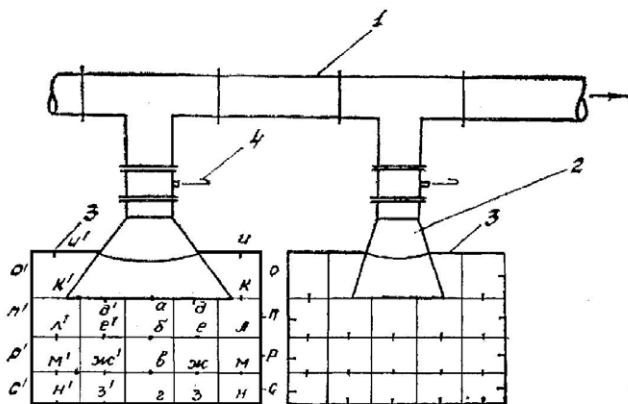


Рис. 1.2. Схема экспериментального стенда:  
 1 – всасывающий воздуховод; 2 – зонтичное укрытие;  
 3 – капроновая сетка; 4 – шиберная задвижка

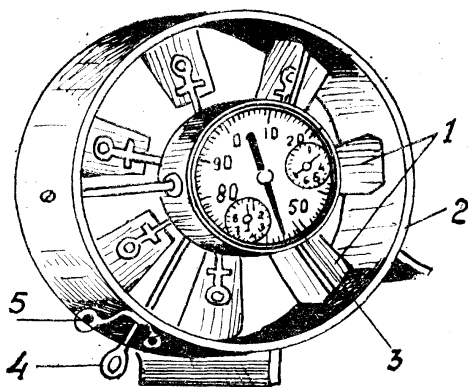


Рис. 1.3. Крыльчатый анемометр: 1 – крыльчатка с лопастями;  
 2 – ограждающий цилиндр-обойма; 3 – счетный механизм со шкалой;  
 4 – выключатель (арретир); 5 – кольца управления выключателем

В плоскости, проходящей по оси укрытия, на раме закреплена капроновая сетка 3, которая позволяет замерять скорости всасываемого воздушного потока в строго зафиксированных точках.

Для замеров скорости воздушного потока в опорных точках применяется крыльчатый анемометр (рис. 1.3), состоящий из крыльчатки 1 с лопастями, ограждающего цилиндра 2, счетной шкалы 3,

выключателя 4 и колец управления рычагом выключения 5. Время работы анемометра фиксируется секундомером.

### Алгоритм проведения эксперимента

Методика измерения скорости анемометром заключается в следующем. Анемометр помещают в заданной точке воздушного потока и дают ему раскрутиться. После набора оборотов крыльчаткой (около 10...15 с) включают счетный механизм и одновременно секундомер, фиксирующий время измерения. Крыльчатый анемометр всегда устанавливают крыльчаткой навстречу потоку воздуха. Для получения средней скорости потока через 30...60 с, не вынимая анемометр из потока, выключают счетный механизм и секундомер. Перед измерениями записывают начальное показание анемометра, после измерения – конечное, а также показание секундомера. Разность показаний, отнесенная ко времени измерения, дает так называемую скорость анемометра, которая определяется по формуле

$$m = \frac{n_2 - n_1}{t}, \quad (1.2)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – начальное и конечное показания анемометра;  $t$  – время измерения, с.

Скорость воздушного потока в заданной точке находят по значению скорости анемометра с помощью таблиц или графика, которыми снабжают каждый прибор.

По полученному полю скоростей (точки замеров  $a, b, в, \dots, с$ ) на миллиметровой бумаге строится эпюра всасывающего факела зонтичного укрытия с определенным углом раскрытия.

Зная скорости  $\omega_a = \omega_o$  на оси всасывания зонтичного укрытия,  $\omega_{(б, в или г)}$ , соответствующие скорости  $\omega_y$ , а также площадь входного сечения зонта  $F$ , производим проверку справедливости уравнения (1.1). Результаты измерений и расчетов сводятся в таблицу.



## Результаты измерений и расчетов

№ точек	Количество измерений		Показания анемометра		Время по секундомеру, $t$ , сек	Скорость по анемометру $m = \frac{n_2 - n_1}{t}$	Скорость воздушного потока, $\omega$ , м/сек	Средняя скорость воздуха $\omega_{\text{ср}} = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3}{3}$ м/сек	Площадь укрытия $F$ , м <sup>2</sup>	Расстояние по оси всасывания $y$ , м	Аналитические данные $\omega_y = \frac{\omega_0}{1 + K(\frac{y}{\sqrt{F}})^{1,4}}$
	нач. $n_1$	кон. $n_2$									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
а	1										
	2										
	3										
б	1										
	2										
	3										
в	1										
	2										
	3										
г	1										
	2										
	3										
д	.										
е	.										
ж	.										

### Обработка экспериментальных данных

В графу 1 таблицы заносятся точки замера, обозначение которых показано на рис. 1.2 и зафиксировано на капроновой сетке. Для каждой точки выполняются три замера (1, 2, 3), о чем делается соответствующая запись в графе 2.

В графах 3 и 4 записываются показания анемометра до начала отсчетов (начальное) и после отсчетов (конечное). Одновременно в графу 5 записывается время работы анемометра по секундомеру.

По уравнению (1.2) рассчитывается скорость воздуха по анемометру для каждой точки. Результаты расчетов заносятся в графу 6. По полученным значениям скорости анемометра и графикам для данного прибора определяется скорость воздушного потока в данной

точке. Все три показания скорости записываются в графу 7. Средняя скорость воздушного потока рассчитывается как среднее арифметическое из трех замеров, полученное значение заносится в графу 8.

Графа 9 заполняется по результатам измерений площади зонта, графа 10 – по фактическому расстоянию по оси всасывания от нижней плоскости зонта до точек (б, в, г...), которые зафиксированы на капроновой сетке.

### **Сравнительный анализ результатов эксперимента и составление заключения**

Получив аналитическую зависимость по формуле (1.1) для всасывающего факела и экспериментальные данные осевой и средней скоростей, площадь укрытия и заданное расстояние до точки, сравнивают экспериментальные результаты с аналитическими. Полученные данные заносят в графу 11.

Зная размеры зонта в поперечнике, значение средних скоростей потока в конкретных точках, строят поле скоростей для данного зонтичного укрытия на миллиметровой бумаге (см. рис. 1.1).

По результатам выполненной работы составляют заключение.

### **Требования техники безопасности при выполнении работы**

1. К работе в лаборатории допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие вводный инструктаж по технике безопасности и электробезопасности на рабочем месте с оформлением в специальном журнале по технике безопасности.

2. Находясь в лаборатории, каждый студент должен проявлять максимальную осторожность, постоянно следить за работой лабораторных стендов, не оставлять их под напряжением без надзора.

3. Включать общее электропитание в лаборатории и электропитание лабораторных стендов разрешается только руководителю лабораторных работ.

4. Разрешение на проведение экспериментов дает руководитель лабораторных работ после проверки знаний по технике безопасности, готовности группы к работе и проверки рабочей схемы.

5. В случае возникновения неисправностей выполнение лабораторной работы следует прекратить и продолжить только после устранения неисправностей.

6. Не допускаются разборка, сборка и монтаж электрооборудования и приборов, находящихся под напряжением.

7. Не разрешается работать неисправными электроприборами, применять соединительные провода с поврежденной изоляцией.

8. В лаборатории запрещается самостоятельно вскрывать приборы и другое оборудование, включать и выключать выключатели и рубильники, пользоваться открытым огнем и курить.

9. По окончании лабораторной работы необходимо привести рабочее место в порядок, отключить электропитание и отсоединить провода.

### **Требования к оформлению и содержанию отчета**

В отчете необходимо указать:

- а) наименование работы и ее номер;
- б) фамилию и инициалы студента;
- в) номер группы.

Отчет должен содержать:

- а) цель работы;
- б) схему экспериментальной установки;
- в) таблицу замеров;
- г) эпюру скоростей всасывающего факела на миллиметровой бумаге;
- д) выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Чем объясняется малая зона действия всасывающего факела зонтичного укрытия?
2. Назовите способы увеличения зоны действия всасывающего факела зонтичного укрытия.
3. Как должен устанавливаться анемометр при замере скорости воздушного потока в данной точке?
4. Как называется скорость, измеренная анемометром и рассчитанная по уравнению (1.2)?
5. Как можно определить скорость воздушного потока, зная скорость анемометра?
6. Где применяется зонтичное укрытие и какие вредные вещества удаляются с его помощью?

## Лабораторная работа 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ИЗ ОТВЕРСТИЯ, ЗАКРЫТОГО РЕГУЛИРУЕМОЙ РЕШЕТКОЙ

**Цели** – изучить методику измерения скоростей открытого воздушного потока (струи) с помощью чашечного анемометра; определить коэффициент решетки и рассчитать расход воздуха в ее сечении.

При истечении воздушного потока (рис. 2.1), вытекающего через отверстие с решеткой, отдельные струйки после поджатия в сечении I–I начинают расширяться, смешиваясь с окружающим воздухом. В сечении II–II они сливаются, а в сечении III–III формируются в сплошной поток (струю) с определенной дальностью. Промежуток между сечениями I–I и III–III называют участком формирования 2; за ним следует начальный участок 3 и далее основной участок 4 с уменьшающимися скоростями  $\omega_x$ .

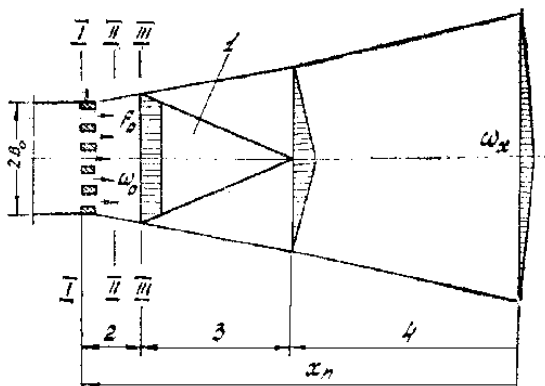


Рис. 2.1. Схема формирования и развития струи, вытекающей через отверстие, закрытое регулируемой решеткой: 1 – ядро постоянных скоростей; 2 – участок формирования струи после выхода из решетки; 3 – начальный участок; 4 – основной участок

Статическое давление в начале участка формирования (в месте выхода струи из плоскости решетки площадью  $F_0$ ) понижается до

отрицательного, так как здесь происходит увеличение скорости, а следовательно, и динамического давления. В конце участка 2 статическое давление быстро поднимается до положительного и постепенно сравнивается с давлением окружающей среды.

Скорость по оси ненастилающейся изотермической воздушной струи, вытекающей из отверстия с решеткой, на основном участке:

$$\omega_x = m_1 K_2 \frac{\omega_0 \sqrt{F_0}}{x_n}, \text{ м/с}, \quad (2.1)$$

где  $m_1$  – коэффициент, учитывающий наличие единичного выпуска струи в большое помещение, равный 1;  $K_2$  – коэффициент затухания для ненастилающейся изотермической струи, равный 4,5;  $\omega_0$  – скорость воздушного потока у плоскости решетки, м/с;  $F_0$  – площадь решетки, м<sup>2</sup>;  $x_n$  – расстояние до точки замера, м.

Часовой расход воздуха, проходящего через отверстие, закрытое решеткой,

$$L_p = K_1 \cdot \omega_0 \cdot F_0 \cdot 3600, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.2)$$

где  $K_1$  – поправочный коэффициент к скорости, зависящий от конструкции и архитектурного оформления решетки;  $\omega_0$  – скорость воздушного потока у плоскости решетки, м/с;  $F_0$  – площадь решетки по ее фактическим замерам, м<sup>2</sup>.

Поправочный коэффициент  $K_1$  к скорости  $\omega_0$ , замеренной у плоскости решетки, определяется по формуле

$$K_1 = \frac{L_1}{L_2}, \quad (2.3)$$

где  $L_1$  – расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч, определенный по скорости  $\omega_1$  в насадке;  $L_2$  – расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч, определенный по скорости  $\omega_0$ , замеренной непосредственно у плоскости решетки.

### **Последовательность выполнения работы**

1. Ознакомление с экспериментальной установкой, устройством и принципом работы чашечного анемометра, секундомера.
2. Включение экспериментальной установки в работу.
3. Экспериментальное установление оси струи и фиксация точек замера по оси.
4. Замеры скоростей в выбранных сечениях и точках.

5. Обработка результатов исследований.
6. Оформление работы.
7. Выводы.

### Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 2.2) состоит из напорной ветви воздуховода 1 диаметром 300 мм, отводящего патрубка 2 с шиберной задвижкой 3, регулируемой решетки 4. Количество воздуха, подаваемого в патрубок с решеткой, регулируется шиберной задвижкой 3, что позволяет изменять расход воздуха в струе, выходящей из регулируемого отверстия, закрытого решеткой 4. Измерение скорости воздуха в струе производят через каждые 300 мм от решетки.

В вентиляционной практике для измерения скоростей воздушных потоков применяют чашечные и крыльчатые анемометры. Чашечными анемометрами (рис. 2.3) измеряют скорости воздушного потока до 40 м/с. Для измерения скоростей до 5 м/с используют более чувствительные крыльчатые анемометры.

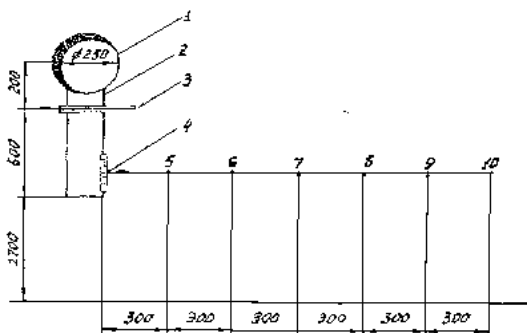


Рис. 2.2. Схема экспериментальной установки:  
 1 — напорный воздуховод; 2 — отводящий патрубок;  
 3 — шиберная задвижка; 4 — регулируемая решетка;  
 5...10 — рекомендуемые точки замера скоростей

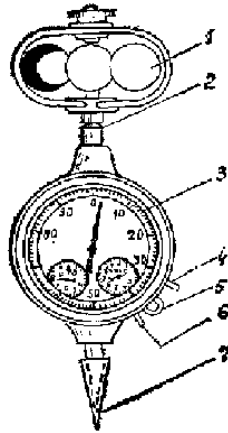


Рис. 2.3. Чашечный анемометр: 1 – вертушка; 2 – вертикальная ось; 3 – счетчик скорости; 5 – выключатель; 4 и 6 – кольца управления рычагом выключения; 7 – винт фиксации

В данной работе используется чашечный анемометр, который состоит из трех основных элементов: вертушки со сферическими лопастями 1, счетного механизма со шкалой 3 и рычага (арретира) 5, служащего для включения и выключения счетного механизма.

Для фиксирования времени работы анемометра применяют секундомеры.

Для определения значения поправочного коэффициента для решетки изготавливается насадок, сечение которого должно соответствовать габаритам решетки, а длина (относ от решетки) должна быть не менее двух длин большей ее стороны.

### **Алгоритм проведения эксперимента**

Для измерения скорости струи анемометр помещают в воздушный поток и через 10–15 с включают счетный механизм и одновременно секундомер, фиксирующий время измерения. Для получения средней скорости потока анемометр медленно перемещают по плоскости сечения, в котором производят измерение. Через 30–60 с, не вынимая анемометр из потока, включают счетный механизм и секундомер. До начала измерений записывают начальное показание счетной шкалы, после замера – конечный отсчет и время отсчета по секундомеру. Разность показаний, отнесенная ко време-

ни измерения, дает так называемую скорость анемометра, которая определяется по формуле

$$m = \frac{n_2 - n_1}{t}. \quad (2.4)$$

Скорость воздушного потока  $\omega$  определяется по значению скорости анемометра с помощью таблиц или графиков, которыми снабжаются анемометры. У некоторых анемометров шкала градуируется таким образом, что частное от деления разности показаний прибора на время есть скорость потока.

Расход воздуха из отверстия, закрытого регулируемой решеткой, определяется в следующей последовательности.

1. Измеряется скорость движения воздушного потока  $\omega_0$  чашечным анемометром в плоскости решетки. Количество замеров должно быть не менее трех. По полученным значениям скорости вычисляется ее среднее значение:

$$\omega_0 = \frac{\omega_0' + \omega_0'' + \omega_0'''}{3}, \text{ м/с.} \quad (2.5)$$

По полученному значению  $\omega_0$  и замеренной площади решетки  $F_0$  определяется секундный расход воздуха, выходящего непосредственно из плоскости решетки:

$$L_2 = \omega_0 \cdot F_0, \text{ м}^3/\text{с.} \quad (2.6)$$

2. Измеряется скорость  $\omega_1$  движения воздушного потока в насадке, выполненном по контурам решетки и имеющем длину (расстояние от плоскости решетки), равную двум длинам большей её стороны. По среднему значению скорости  $\omega_1$  и площади  $F_0$  по уравнению (2.7) вычисляется секундный расход воздуха, выходящего из насадка:

$$L_1 = \omega_1 \cdot F_0, \text{ м}^3/\text{с.} \quad (2.7)$$

3. По уравнению (2.3) определяется поправочный коэффициент  $K_1$  к скорости  $\omega_0$ , который зависит от конструкции и архитектурного оформления решетки.

4. Рассчитывается часовой расход воздуха через приточную решетку по уравнению (2.2).

5. Производятся замеры скорости (не менее 3 замеров) по оси воздушной струи в определенных интервалах (рис. 2.2). Выводятся



средние значения скоростей в каждой точке замера и устанавливается граница дальности воздушного потока.

6. Сравниваются полученные измерения скорости потока на оси струи с помощью замеров с расчетными скоростями по уравнению (2.1). Результаты измерений и расчетов сводятся в таблицу.

### *Результаты измерений и расчетов*

№ замера	Место и точки замера	Показания анемометра		Разность отсчетов	Продолжительность замера, с	Скорость анемометра	Средняя скорость потока, м/с	Расход воздуха через решетку, м <sup>3</sup> /с	Поправочный коэффициент $K_1$	Часовой расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Скорость воздушной струи, м/с			Примечание
		начальное	конечное								по замерам, м/с	по формуле (2.1)	погрешность, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	В плоскости решетки													
2											—	—	—	
3														
1	В насадке													
2											—	—	—	
3														
1	По оси струи точка 5													
2											—	—	—	
3														
1	По оси струи точка 6													
2											—	—	—	
3														

### **Обработка экспериментальных данных**

В графу 1 заносятся номера замеров для каждого характерного сечения или точки. Для каждой точки делается три замера, которые образуют одну группу.

В графу 2 заносятся места выбранных сечений. Например, в плоскости решетки, в насадке, по оси струи и т. д.

Графы 3, 4, 5, 6 заполняются по показаниям анемометра и времени его работы по секундомеру.

Графа 7 заполняется после вычислений по уравнению (2.4).

Значение средней скорости потока определяется по графику или таблице для данного анемометра и заносится в графу 8.

Расход воздуха через решетку (графа 9) вычисляется по уравнению (2.6), расход в патрубке решетки (в насадке) – по уравнению (2.7), после определения средней скорости. Поправочный коэффициент рассчитывается по уравнению (2.3), и его значение заносится в графу 10, после чего определяется часовой расход воздуха через решетку (графа 11) по уравнению (2.2). Скорость струи, определённая за мерами в заданных сечениях, записывается в графу 12. Скорость струи, определённая по уравнению (2.1), записывается в графу 13.

### **Сравнительный анализ результатов эксперимента и составление заключения**

Данные, полученные экспериментально, сравниваются с аналитическими по уравнению (2.1), и делается запись в графу 13. Для каждого значения вычисляется погрешность. Значение погрешности (расхождений) заносится в графу 14. В примечании делаются самостоятельные выводы о возможных причинах расхождений. Составляется заключение о проделанной работе.

### **Требования техники безопасности при выполнении работы**

1. К работе в лаборатории допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие вводный инструктаж по технике безопасности и электробезопасности на рабочем месте с оформлением в специальном журнале по технике безопасности.

2. Находясь в лаборатории, каждый студент должен проявлять максимальную осторожность, постоянно следить за работой лабораторных стендов, не оставлять их под напряжением без надзора.

3. Включать общее электропитание в лаборатории и электропитание лабораторных стендов разрешается только руководителю лабораторных работ.

4. Разрешение на проведение экспериментов дает руководитель лабораторных работ после проверки знаний по технике безопасности, готовности группы к работе и проверки рабочей схемы.

5. В случае возникновения неисправностей выполнение лабораторной работы следует прекратить и продолжить только после устранения неисправностей.

6. Не допускаются разборка, сборка и монтаж электрооборудования и приборов, находящихся под напряжением.

7. Не разрешается работать неисправными электроприборами, применять соединительные провода с поврежденной изоляцией.

8. В лаборатории запрещается самостоятельно вскрывать приборы и другое оборудование, включать и выключать выключатели и рубильники, пользоваться открытым огнем и курить.

9. По окончании лабораторной работы необходимо привести рабочее место в порядок.

### **Требования к оформлению и содержанию отчета**

В отчете необходимо указать:

- а) наименование работы и ее номер;
- б) фамилию, имя, отчество студента;
- в) номер учебной группы.

Отчет должен содержать:

- а) цель работы;
- б) схему лабораторной установки;
- в) таблицу замеров и выполненных расчетов;
- г) выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные элементы ненастилающейся изотермической струи, вытекающей из регулируемой приточной решетки.
2. Объясните назначение регулируемой приточной решетки.
3. Объясните причины размывания струи на основном участке.
4. Объясните причины изменения статического давления на начальном участке ненастилающейся изотермической приточной струи.
5. Назовите основные правила измерения скорости воздушного потока чашечным анемометром.

## Лабораторная работа 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ВСАСЫВАНИИ

**Цели** – изучить факторы, определяющие коэффициент местного сопротивления  $\xi$  от вида сопротивления; освоить порядок проведения испытаний с помощью трубок Пито и Пито – Прандтля, а также тягонапорометров.

На участках поворота воздуховода, при делении и слиянии потоков в тройниках, при изменении размеров воздуховода (расширение в диффузорах, сужение в конфузорах), при входе в воздуховод или в канал и на выходе из него, а также в местах установки регулирующих устройств (дросселей, шиберов, диафрагм) наблюдается падение давления. В потоке воздуха происходит перестройка поля скоростей и образование вихревых зон у стенок, что сопровождается потерей энергии потока. Нарушение установившегося поля скоростей начинается на определенном расстоянии до местного сопротивления, а выравнивание потока происходит на расстоянии, равном 5–9 диаметрам воздуховода после него. На всем участке возмущенного потока происходит потеря энергии на вязкое трение и увеличиваются потери на трение о стенки. Однако условно для удобства проведения аэродинамического расчета потери давления в местных сопротивлениях считаются сосредоточенными.

Потери давления в местном сопротивлении выражаются в долях динамического давления воздуха в воздуховоде:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho \omega_{\text{ср}}^2}{2}, \text{ Па}, \quad (3.1)$$

где  $\xi$  – коэффициент местного сопротивления.

Значения  $\xi$  для различных местных сопротивлений изменяются в широких пределах – обычно от 0 до 10.

При небольших скоростях движения воздуха и значительных потерях давления, например в диафрагме, коэффициент  $\xi$  может быть очень высоким – до 300. В отдельных случаях в ответвлениях тройников возможен отрицательный коэффициент  $\xi$ . Это означает

увеличение удельной энергии потока ответвления вследствие эжекции его основным потоком. Следовательно, при расчете изменения давления следует учитывать величину и знак  $\xi$ .

При определении потерь давления необходимо знать, к какой скорости относится коэффициент  $\xi$ . Обычно это наибольшая скорость в суженном сечении участка или скорость в сечении участка с меньшим расходом (в тройнике).

Для большинства геометрически подобных местных сопротивлений величины  $\xi$  постоянны. Независимость  $\xi$  от числа Re указывает на незначительность вязкостного сопротивления при вихреобразовании.

В устройствах с очень развитыми поверхностями — пластинчатых калориферах, фильтрах и т. п. — трение играет заметную роль. В них показатель степени средней скорости является величиной переменной, зависящей от сезонности работы установки (зимний или переходный периоды), и изменение потерь давления в местном сопротивлении не пропорционально квадрату скорости воздуха в его сечении:

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho \omega_{\text{ср}}^n}{2}, \quad (3.2)$$

где  $\xi$  — коэффициент местного сопротивления;  $\omega_{\text{ср}}$  — средняя скорость по сечению воздушного потока, м/с;  $n$  — показатель степени средней скорости;  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

### **Последовательность выполнения работы**

1. Изучение экспериментальной установки, приборов и мест их подключения.
2. Выверка микроманометров (тягианпоромеров) и подготовка их к работе.
3. Проверка открытия шиберных задвижек на исследуемом участке.
4. Включение установки в работу и примерочные замеры.
5. Контрольные замеры давлений в заданных сечениях.
6. Пересчет давлений на их средние значения.
7. Расчет средней скорости в заданных сечениях.
8. Оценка величин разрежения.
9. Расчет потерь давления.
10. Оформление работы.

## Описание экспериментальной установки

Определение коэффициента сопротивления тройника выполняется на всасывающей линии лабораторного стенда (рис. 3.1) промышленного типа, состоящего из системы воздухопроводов диаметром 320 мм, которые через гибкую вставку соединены с вентиляционным агрегатом марки Ц4-70. В заданных сечениях выполнены отверстия (лючки) для установки в них пневмометрических трубок.

С помощью пневмометрических трубок производится измерение давлений. Схема подключения трубок к микроманометрам (тягонапоромерам) показана на рис. 3.1.

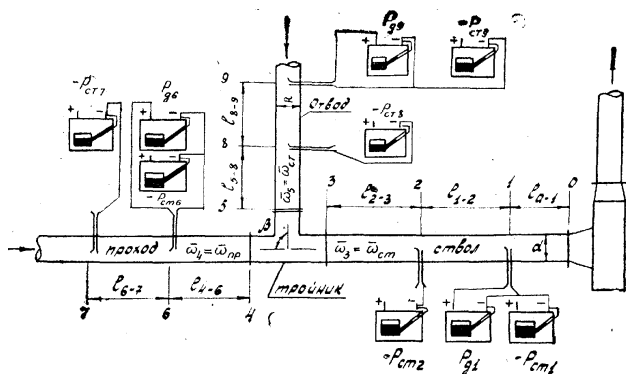


Рис. 3.1. Схема экспериментальной установки для исследования коэффициентов местных сопротивлений

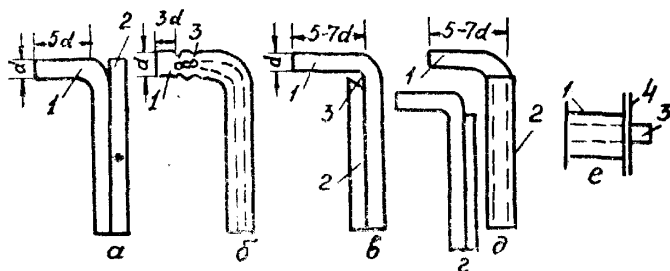


Рис. 3.2. Пневмометрические трубки: а – трубка Пито; б – трубка Пито – Прандтля; в – трубка НИИОгаз; г и д – трубки Южгипроцемента; е – трубка с шайбой; 1 – трубка для замера полного давления; 2 – трубка для замера статического давления; 3 – отверстие для замера статического давления; 4 – шайба; d – наружный диаметр трубки

Для оценки давлений могут применяться различные пневмометрические трубки (рис. 3.2). Наиболее простые из них — трубки Пито (рис. 3.2, а) и Пито — Прандтля (рис. 3.2, б). У трубки Пито конец, загнутый под углом  $90^\circ$ , устанавливается навстречу движущемуся потоку воздуха. Вторая трубка имеет срезанный торец, плоскость которого устанавливается параллельно оси потока. В трубке Пито — Прандтля для замера статических давлений служат отверстия 3 (рис. 3.2, б).

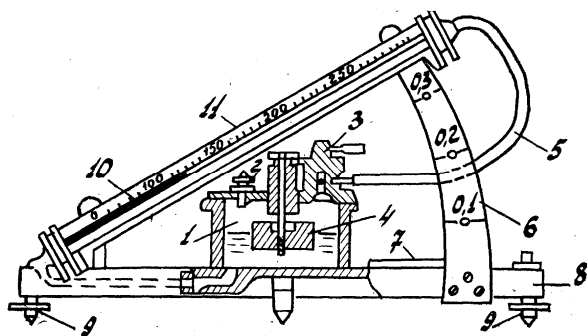


Рис. 3.3. Общий вид микроманометра марки ММН:

- 1 — цилиндрический резервуар; 2 — отверстие для заправки микроманометра спиртом; 3 — трехходовой кран; 4 — перемещающийся внутри цилиндра барабан для выведения на нуль показаний в трубке 10; 5 — резиновая трубка, соединяющая резервуар со стеклянной трубкой; 6 — шкала с коэффициентами; 7 — уровни плиты; 8 — плита; 9 — регулировочные винты уровней плиты; 10 — измерительная трубка; 11 — шкала показаний микроманометра

Микроманометр типа ММН (рис. 3.3) состоит из цилиндрического резервуара 1, неподвижно установленного на плите 8. На крышке резервуара 1 имеется трехходовой кран 3, который в положении 0 (рис. 3.4, а) контролирует нулевое положение жидкости в измерительной стеклянной трубке 10. Для заправки микроманометра рабочей жидкостью в крышке резервуара 1 имеется пробковый кран 2.

Для выведения на 0 показаний трубки 10 служит поплавковый регулятор 4, которым может изменяться уровень жидкости в камере 1. Включение микроманометра в работу производится трехходовым краном (рис. 3.4).

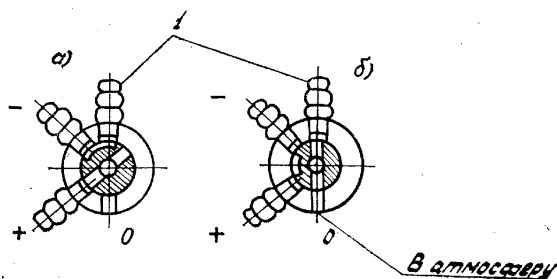


Рис. 3.4. Трехходовой кран микроманометра для подсоединения пневмометрических трубок: *a* – при контроле нуля; *б* – при измерении; *1* – к трубке микроманометра

Второй конец стеклянной измерительной трубки соединен с полостью цилиндрического резервуара резиновым шлангом 5. Наклон измерительной трубки 10 со шкалой отсчетов 11 может изменяться за счет перемещения по шкале 6, на которой нанесены коэффициенты наклона.

Для контроля над уровнем установки плиты основания 8 имеются уровни 7 и регулировочные винты 9.

Микроманометр заправляется спиртом плотностью 0,8095 кг/л. Показания прибора в мм вод. ст. получают умножением показаний, отсчитанных на шкале 11, на значение коэффициента *K*, выгравированного возле соответствующего отверстия на шкале 6.

### Алгоритм проведения эксперимента

Для определения величины коэффициента местного сопротивления тройника  $\xi$  на всасывающей линии воздуховода необходимо опытным путем найти значение полного давления в сечениях 3, 4, 5 (рис. 3.1), разность полных давлений  $P_{n,3} - P_{n,5}$ , равную потере давления струи на проход.

Величина коэффициента местного сопротивления  $\xi$  тройника для ответвления

$$\xi_{\text{отв}} = \frac{\Delta P_{\text{отв}}}{\omega_{\text{ср5}}^2 \cdot \rho} \cdot 2; \quad (3.3)$$

для прохода

$$\xi_{\text{прох}} = \frac{\Delta P_{\text{прох}}}{\omega_{\text{ср4}}^2 \cdot \rho} \cdot 2, \quad (3.4)$$



где  $\omega_{\text{ср.5}}$  – средняя скорость воздуха в сечении 5, м/с;  $\omega_{\text{ср.4}}$  – средняя скорость воздуха в сечении 4, м/с;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Для измерения статических и динамических давлений на участках воздуховода между сечениями 0–3, 4–7 и 5–9 устанавливаются пневмометрические трубки, которые присоединяются к микроманометрам (тягонапоромерам) по схеме (рис. 3.1).

Пневмометрические трубки устанавливаются по оси воздухопроводов в сечениях, удаленных от местных сопротивлений на расстояния, обеспечивающие стабилизацию потока после местного сопротивления.

В сечениях 3, 4 и 5 (рис. 3.1), граничащих с местным сопротивлением, где происходит слияние потоков, определить величину полных давлений (разрежений) не представляется возможным, поэтому измерение их производится соответственно в соседних сечениях 2, 6 и 8: измеряются отдельно значения статических и динамических давлений. По динамическим давлениям рассчитываются средние скорости воздуха в сечениях ( $n$  – число замеров в сечении):

$$\omega_{\text{ср.}n} = \sqrt{\frac{2P_{\text{дин}}}{\rho}}, \text{ м/с.} \quad (3.5)$$

Средняя скорость в точке замера на оси потока

$$\omega_{\text{ср}} = \bar{c} \cdot \omega_0, \text{ м/с,} \quad (3.6)$$

где  $\bar{c}$  – коэффициент; для турбулентного режима движения газа равен 8,81.

Средняя по сечению скорость на основе  $n$  замеров

$$\bar{\omega} = \frac{\omega_{\text{ср.1}} + \omega_{\text{ср.2}} + \dots + \omega_{\text{ср.}n}}{n}, \text{ м/с.} \quad (3.7)$$

Полные разрежения в сечениях 2, 6 и 8 определяются как разность статических и средних динамических давлений на участках всасывания:

$$P_{\text{ст.2}} - P_{\text{дин.2}} = P_{n,2}; \quad (3.8)$$

$$P_{\text{ст.6}} - P_{\text{дин.6}} = P_{n,6}; \quad (3.9)$$

$$P_{\text{ст.8}} - P_{\text{дин.8}} = P_{n,8}. \quad (3.10)$$

По таблицам для данного диаметра и замеренной скорости воздушного потока находим потери давления по длине отдельно для каждого участка:

$$\Delta P(2-3) = Rl_{\text{отв.}(2-3)}; \quad (3.11)$$

$$\Delta P(4-6) = Rl_{\text{прох.}(2-3)}; \quad (3.12)$$

$$\Delta P(5-8) = Rl_{\text{отв.}(2-3)}. \quad (3.13)$$

Зная величины полных средних разрежений в смежных участках и сопротивлений, значение полных разрежений в сечениях 3, 4 и 5 можно найти по уравнениям

$$P_{n.4} = P_{n.6} + \Delta P(4-6); \quad (3.14)$$

$$P_{n.5} = P_{n.8} + \Delta P(5-8); \quad (3.15)$$

$$P_{n.3} = P_{n.2} + \Delta P(2-3). \quad (3.16)$$

Потеря давления в отводе

$$\Delta P_{\text{отв}} = P_{n.3} - P_{n.5}; \quad (3.17)$$

$$\Delta P_{\text{прох}} = P_{n.3} - P_{n.4}. \quad (3.18)$$

Значения коэффициента сопротивления  $\xi$  прямого тройника, установленного на всасывающей ветви воздуховода (рис. 3.5), принимаются в зависимости от соотношения площади поперечного сечения участков воздуховода, скорости воздуха в них и проходящих расходов (табл. 1).

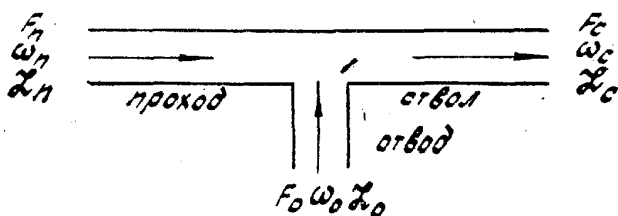


Рис. 3.5. Установочная схема прямого тройника на всасывающей ветви воздуховода

Таблица 1

Значения местных сопротивлений  $\xi$ 

$F_0/F_n$	Значение $\xi$ при $L_0/L_c$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,1	0,3	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1
	0,2	0,5	0,9	1,5	2,5	4,4	8,4	20	82
0,2	-1,7	0,6	1	1	1	1	1	1	1
	0,2	0,4	0,8	1,3	2,1	3,7	7,1	16,7	69
0,4	-9,4	0,6	0,7	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	0,2	0,4	0,6	1	1,6	2,8	5,2	12,3	51
0,6	-21	-2,7	0,1	0,9	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,3	2,2	4,1	9,5	39
0,8	-37	-5,5	-0,7	0,6	1,1	1,2	1,3	1,3	1,2
	0,3	0,4	0,5	0,7	1,1	1,8	3,3	7,6	31
1	-50	-8,8	-1,7	0,3	1,1	1,3	1,3	1,3	1,3
	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,6	2,8	6,3	25

*Примечания.*

1. В верхней строке помещены значения  $\xi_0$ , относящиеся к скорости  $\omega_0$ ; в нижней – значения  $\xi_n$ , относящиеся к скорости  $\omega_n$ .
2.  $F_0 + F_n > F_c$ .

Результаты экспериментальных измерений и вычислений заносятся в табл. 2.

Таблица 2

## Результаты экспериментальных измерений и вычислений

Наименование измерений и расчетных величин	Воздуховоды		
	ствол	проход	отвод
1	2	3	4
1. Статическое давление	$P_{ст.2}$	$P_{ст.6}$	$P_{ст.8}$
2. Осевое динамическое давление	$P_{д.2}$	$P_{д.6}$	$P_{д.8}$
3. Среднее динамическое давление	$P_{д.2}$	$P_{д.6}$	$P_{д.8}$
4. Полное разрежение	$P_{н.2}$	$P_{н.6}$	$P_{н.8}$
5. Расстояние от сечений замера до тройника	$l_{ств}$	$l_{прох}$	$l_{отв}$
6. Потери давления на трение на 1 п. м. трубы $D = 320$ мм	$R_{ств}$	$R_{прох}$	$R_{отв}$

Наименование измерений и расчетных величин	Воздуховоды		
	ствол	проход	отвод
1	2	3	4
7. Полное разрежение с учетом потерь $Rl$	$P_{n,3}$	$P_{n,4}$	$P_{n,5}$
8. Потери давления в отводе	$P_{отв}$	$P_{прох}$	—
9. Коэффициенты местных сопротивлений по уравнениям (3.11) и (3.12)	—	$\xi_{пр}$	$\xi_{отв}$

### Обработка экспериментальных данных

1. Величина статического давления в стволе, проходе и отводе принимается по результатам измерений и заносится в строку 1 табл. 2.
2. Осевое динамическое давление три раза замеряется на участках ствола, прохода и отвода. Все показания динамического давления заносятся в строку 2 табл. 2.
3. Среднее динамическое давление на каждом участке рассчитывается как среднее арифметическое трех показаний. Результаты расчетов записываются в строку 3 табл. 2.
4. Полное разрежение в сечениях 2, 6 и 8 рассчитывается по уравнениям (3.8), (3.9) и (3.10). Полученные величины заносятся в строку 4 табл. 2 отдельно для ствола, прохода и отвода.
5. Расстояние между сечениями на участках ствола, прохода и отвода определяется за мерами на участках стенда; результаты заносятся в строку 5 табл. 2.
6. Потери давления принимаются по справочным данным для фактического диаметра и средней скорости, определенной по уравнению; полученные результаты заносятся в строку 6 табл. 2.
7. Полное разрежение с учетом потерь на трение по длине ствола, прохода и отвода рассчитывается по уравнениям (3.14), (3.15) и (3.16) и заносится в строку 7. Потери давления в отводе определяются по уравнениям (3.17) и (3.18). Результаты расчетов сводятся в строку 8 табл. 2.
8. Величина коэффициента местного сопротивления  $\xi$  тройника рассчитывается по уравнениям (3.3) и (3.4).

## **Сравнительный анализ результатов эксперимента и составление заключения**

Полученные значения для прохода и отвода вносятся в строку 9 табл. 2 и сравниваются со значениями, приведенными в табл. 1.

В примечании делаются самостоятельные выводы о возможных причинах расхождений. Составляется заключение о проделанной работе.

### **Требования техники безопасности при выполнении работы**

1. К работе в лаборатории допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие вводный инструктаж по технике безопасности и электробезопасности на рабочем месте с оформлением в специальном журнале по технике безопасности.

2. Находясь в лаборатории, каждый студент должен проявлять максимальную осторожность, постоянно следить за работой лабораторных стендов, не оставлять их под напряжением без надзора.

3. Включать общее электропитание в лаборатории и электропитание лабораторных стендов разрешается только руководителю лабораторных работ.

4. Разрешение на проведение экспериментов дает руководитель лабораторных работ после проверки знаний по технике безопасности, готовности группы к работе и проверки рабочей схемы.

5. В случае возникновения неисправностей выполнение лабораторной работы следует прекратить и продолжить только после устранения неисправностей.

6. Не допускаются разборка, сборка и монтаж электрооборудования и приборов, находящихся под напряжением.

7. Не разрешается работать неисправными электроприборами, применять соединительные провода с поврежденной изоляцией.

8. В лаборатории запрещается самостоятельно вскрывать приборы и другое оборудование, включать и выключать выключатели и рубильники, пользоваться открытым огнем и курить.

9. По окончании лабораторной работы необходимо привести рабочее место в порядок.

## Требования к оформлению и содержанию отчета

В отчете необходимо указать:

- а) наименование работы и ее номер;
- б) фамилию, имя, отчество студента;
- в) номер учебной группы.

Отчет должен содержать:

- а) цель работы;
- б) схему лабораторной установки;
- в) таблицу замеров и выполненных расчетов;
- г) выводы.

## Контрольные вопросы

1. За счет каких факторов происходит падение давления в воздуховодах?
2. Какой вид энергии расходуется на преодоление местных сопротивлений?
3. Назовите виды сопротивлений.
4. На каком расстоянии по длине воздуховода после местного сопротивления происходит выравнивание поля скоростей?
5. В каких числовых диапазонах может меняться значение коэффициента местного сопротивления  $\xi$  и от чего зависит его величина?
6. К какой скорости следует относить коэффициент  $\xi$ ?
7. В каких устройствах отопительно-вентиляционной техники коэффициент местного сопротивления  $\xi$  играет решающую роль?
8. В каких случаях изменение потерь давления в местном сопротивлении не пропорционально квадрату средней скорости воздуха?

## Лабораторная работа 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИТОЧНОЙ КРУГЛОЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СВОБОДНОЙ СТРУИ

**Цель** — изучить методику измерений качественных и количественных характеристик приточной круглой изотермической свободной струи современными приборами применительно к условиям, близким к производственным.

Закономерности образования и распространения свободных воздушных струй находят широкое применение при решении ряда практических задач, связанных с вентиляцией производственных и культурно-бытовых помещений.

Воздушные струи переносят выделяющиеся в воздух вредные вещества и формируют в объеме помещения определенные поля скоростей, температур и концентраций вредных веществ. В распространении последних по помещению решающую роль играет диффузия воздушной струи.

Свободная изотермическая струя образуется при истечении потока газа (воздуха) в достаточно большое пространство, заполненное тем же газом (воздухом), и не имеет никаких помех для своего развития.

При одинаковых весовых плотностях в струе и окружающей среде ось струи оказывается прямолинейной.

Механизм образования и распространения свободной струи представляется в следующем виде. Как известно, турбулентный поток характеризуется поперечным переносом вихревых масс. Попадая за пределы струи, вихревые массы переносят в соприкасающиеся со струей слои неподвижного окружающего воздуха свой импульс, увлекая эти слои в сопутствующее движение. На место выброшенных из основной массы частиц в нее проникают частицы окружающего воздуха, которые притормаживают граничные слои. В результате этого масса струи увеличивается, ширина ее растет и скорости убывают за счет перемешивания с окружающим воздухом. По мере удаления от сопла начальная масса струи постепенно размывается.

На рис. 4.1 представлена схема изотермической свободной струи. В струе различают два участка — начальный и основной. Сечение АВ называют переходным сечением.

В ядре струи осевая скорость на начальном участке остается неизменной и равной скорости при истечении  $\omega_0$ .

Внутри обращенного конуса, имеющего основанием кромки трубы, а вершину — на расстоянии  $x$  от кромок, сохраняется основная масса струи со всеми присущими ей свойствами: скоростью, температурой, концентрацией вредных веществ. От вершины этого конуса идет основной участок, характеризующийся по мере удаления от переходного сечения уменьшением осевой скорости.

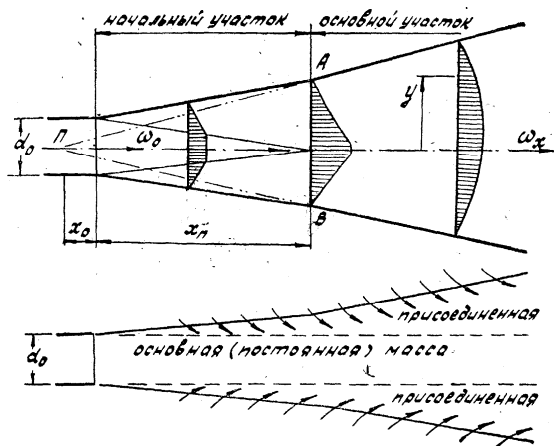


Рис. 4.1. Схема формирования круглой изотермической свободной струи:  
 $d_0$  — диаметр насадка;  $P$  — полюс струи;  $x_n$  — длина начального участка;  
 $\omega_0$  — скорость воздуха на выходе из отверстия

Внутри насадка на некотором расстоянии от его кромок на оси струи находится полюс струи  $P$ . Если из него через кромки трубы проведем лучи  $PA$  и  $PB$ , то получим внешние границы струи. Под границами струи подразумевается поверхность, в любой точке которой осевой компонент скорости равен нулю.

Закономерности изотермической свободной круглой струи в общем виде представляются как функция основных параметров струи:



$$\frac{\omega}{\omega_x} = f\left(\frac{y}{ax}\right) = f\left(\frac{y}{ad_0}\right), \quad (4.1)$$

где  $\omega$  – скорость в произвольной точке струи, м/с;  $y$  – координата точки относительно оси потока, м;  $\omega_x$  – осевая скорость на расстоянии  $x$  от отверстия, м/с;  $a$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий турбулентность струи (величина безразмерная). Для трубы круглого сечения  $a = 0,076$ ;  $x$  – расстояние от отверстия трубы размером  $d_0$  до рассматриваемого сечения, м.

### **Последовательность выполнения работы**

1. Изучение лабораторного стенда и его рабочих элементов.
2. Выверка микроманометра (тягианпоромера) и подсоединение его к трубке Пито.
3. Установление координатника и закрепление на нем трубки Пито.
4. Исследование опытным путем длины начального участка и сопоставление ее с расчетными формулами.
5. Выполнение замеров на расстоянии  $x$  и вычисление средней скорости в данном сечении.
6. Определение осевой скорости при истечении из насадка и расчет количества воздуха, выходящего из насадка.
7. Определение расхода воздуха в сечении на расстоянии  $x$  от насадка.
8. Определение объема воздуха, эжектируемого струей.
9. Построение трех эпюр скоростей: на начальном участке, в переходном сечении и на основном участке.
10. Оформление работы.

### **Описание экспериментальной установки**

Работа выполняется на лабораторной установке (рис. 4.2), состоящей из напорного патрубка  $D = 220$  мм, подсоединенного к нагнетательной ветви воздуховода  $I$ . На напорном патрубке  $3$  установлена шиберная задвижка  $2$ , с помощью которой регулируется заданный расход воздуха в насадке  $4$ , образующем струю.

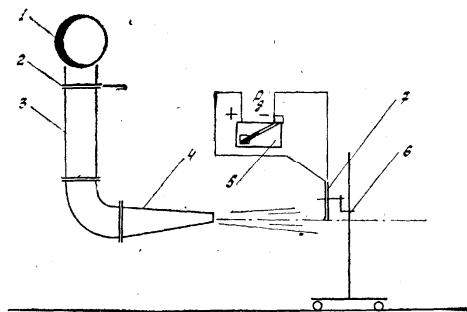


Рис. 4.2. Схема лабораторной установки: 1 – напорный воздуховод; 2 – шиберная задвижка; 3 – напорный патрубок; 4 – насадок для образования струи; 5 – микроманометр; 6 – передвижной координатник; 7 – пневмометрическая трубка, закрепленная в зажиме координатника

### Алгоритм проведения эксперимента

Величину начального участка  $l_0$  определяют, исходя из известного положения, что величина осевой скорости на всем протяжении участка остается постоянной. Следовательно, для нахождения величины  $l_0$  необходимо установить трубку Пито по оси струи в сечении выходного отверстия патрубка и перемещать ее вместе с координатником до тех пор, пока произойдет изменение величины динамического давления, фиксируемого микроманометром (тягонапорометром). Расстояние от выходного отверстия патрубка 4 (рис. 4.2) до отверстия на конце пневмометрической трубки, воспринимающего полное давление, и будет значением  $l_0$ .

Полученное экспериментально значение длины начального участка  $x_n$  сравнивается с теоретическим, вычисленным по выражению:

$$l_0^T = 0,335 \frac{d_0}{a}. \quad (4.2)$$

Для построения эпюры скоростей в сечении  $x$  начального участка трубка Пито устанавливается по оси струи на расстоянии  $x$  от выходного сечения патрубка. Снимаются значения динамического давления в данном сечении по вертикальной плоскости координатника 6 (рис. 4.2) по всей ширине струи до тех пор, пока значение динамического давления не будет равно нулю (внешняя граница

струи). По полученным значениям динамических давлений находят скорости струи в точках измерений. Подсчет скорости производится по формуле

$$\omega_x = \sqrt{\frac{2P_{\text{дин}}}{\rho}}, \text{ м/с.} \quad (4.3)$$

Результаты измерений заносятся в таблицу.

Определение количества воздуха, эжектируемого струей, осуществляется по следующей методике.

Измеряются осевая скорость в выходном сечении патрубка и его поперечное сечение. По значениям осевой скорости  $\omega_0$  и площади поперечного сечения патрубка определяется количество воздуха, из которого образуется струя:

$$L_0 = \omega_0 c \frac{\pi d_0^2}{4} 3600, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (4.4)$$

где  $c$  – коэффициент перевода осевой скорости в среднюю, равный 0,81;  $d_0$  – диаметр поперечного сечения патрубка, м;  $\omega_0$  – осевая скорость в выходном сечении патрубка, м/с.

### Обработка экспериментальных данных

1. По уравнению (4.2) определяется теоретическое значение длины начального участка струи.

2. Графу 2 заполняют после экспериментального определения длины начального участка  $l_0$  и смещения трубки Пито на расстояние  $x$ , фиксируемое координатником.

3. Графу 3 заполняют показаниями микроманометра (тягинометра) при производстве замеров в 5 точках поперечного сечения струи. Число замеров должно охватить всю ширину струи и быть достаточным для построения эпюры скоростей в данном сечении.

4. Значения скорости на расстоянии  $x$  вычисляют для каждой точки по уравнению (4.3) и заносят в графу 4.

5. По полученному значению скоростей находят среднюю скорость в исследуемом сечении струи как частное от деления показаний скоростей в измеряемых точках на количество измерений:

$$\omega_x^{\text{ср}} = \frac{\omega_{x1} + \omega_{x2} + \omega_{x3} + \dots + \omega_{x5}}{5}. \quad (4.5)$$

Вычисленное значение  $\omega_x^{\text{ср}}$  заносят в графу 5.

6. Величину плотности воздуха при определенной температуре помещения записывают в графу 6.

7. Производят замер скорости воздушного потока в центральном отверстии патрубка  $\omega_0$ ; результат заносят в графу 7.

8. В графу 12 записывают диаметр выходного сечения патрубка в метрах.

9. Ширину струи определяют по результатам измерений (от верхней до нижней границы струи). Показания заносят в графу 8.

10. Расход воздуха в начальном сечении насадка  $L_0$  определяют по уравнению (4.4), показания заносят в графу 9.

11. Суммарное количество воздуха, участвующее в движении в рассматриваемом сечении:

$$L_x = \omega_x^{\text{ср}} \frac{\pi \cdot d_x^2}{4} 3600, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (4.6)$$

где  $d_x$  – ширина струи в сечении  $x$ .

Результат заносят в графу 10.

12. Количество эжектируемого воздуха

$$L_{\text{эж}} = L_x - L_0. \quad (4.7)$$

Процентное отношение рассчитывают по формуле  $\frac{L_{\text{эж}}}{L_0} 100 \%$ .

### *Результаты измерений и вычислений*

№ измерений	Расстояние от выходного отверстия, м	$P_{\text{д}},$ кг/ м <sup>2</sup>	$\omega_x,$ м/с	$\omega_x^{\text{ср}},$ м/с	$\rho,$ кг/м <sup>3</sup>	$\omega_0,$ м/с	Ширина струи, мм	$L_0,$ м <sup>3</sup> /ч	$L_x,$ м <sup>3</sup> /ч	$L_{\text{эж}},$ м <sup>3</sup> /ч	Диаметр патрубка $d,$ м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1											
2											
3											
4											
5											
1											
2											
3											
4											
5											

## **Сравнительный анализ результатов эксперимента и составление заключения**

Производится сравнение длины начального участка струи, полученного по аналитическим данным по уравнению (4.2), и экспериментального значения.

По значениям граф 1, 2, 4, 8 строят эпюры скоростей в абсолютных величинах для трёх исследуемых сечений струи. Для каждого сечения по оси ординат, начиная от оси струи, откладывают ее ширину, по оси абсцисс – величины скоростей  $\omega_{x1}$ ,  $\omega_{x2}$ ,  $\omega_{x3}$  ...,  $\omega_{x5}$ . По построенным эпюрам составляется заключение.

### **Требования техники безопасности при выполнении работы**

1. К работе в лаборатории допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие вводный инструктаж по технике безопасности и электробезопасности на рабочем месте с оформлением в специальном журнале по технике безопасности.

2. Находясь в лаборатории, каждый студент должен проявлять максимальную осторожность, постоянно следить за работой лабораторных стендов, не оставлять их под напряжением без надзора.

3. Включать общее электропитание в лаборатории и электропитание лабораторных стендов разрешается только руководителю лабораторных работ.

4. Разрешение на проведение экспериментов дает руководитель лабораторных работ после проверки знаний по технике безопасности, готовности группы к работе и проверки рабочей схемы.

5. В случае возникновения неисправностей выполнение лабораторной работы следует прекратить и продолжить только после устранения неисправностей.

6. Не допускаются разборка, сборка и монтаж электрооборудования и приборов, находящихся под напряжением.

7. Не разрешается работать неисправными электроприборами, применять соединительные провода с поврежденной изоляцией.

8. В лаборатории запрещается самостоятельно вскрывать приборы и другое оборудование, включать и выключать выключатели и рубильники, пользоваться открытым огнем и курить.

9. По окончании лабораторной работы необходимо привести рабочее место в порядок.

### **Требования к оформлению и содержанию отчета**

В отчете необходимо указать:

- а) наименование работы и ее номер;
- б) фамилию, имя, отчество студента;
- в) номер учебной группы.

Отчет должен содержать:

- а) цель работы;
- б) схему лабораторной установки;
- в) таблицу замеров и выполненных расчетов;
- г) данные сопоставления экспериментальной и теоретической длины начального участка;
- д) построенные эпюры скоростей по ширине струи в трех сечениях:  
 $x_1, x_2, x_3$ ;
- е) выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите основные характеристики начального участка струи.
2. Перечислите основные характеристики ядра струи.
3. Чему равен угол раскрытия струи на начальном участке?
4. Как определяется полюс струи на начальном участке?
5. Почему статическое давление в струе равно нулю?
6. От каких факторов зависит количество увлекаемого струей воздуха?
7. Почему необходимо в заданном сечении определять среднюю скорость для расчета расхода воздуха в струе?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каменев, П.Н. Вентиляция / П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник. — М. : АСВ, 2006. — 616 с.
2. Афанасьева, Р.Ф. Вентиляция. Оборудование и технологии : учеб. практ. пособие / Р.Ф. Афанасьева, Е.И. Константинов. — М. : Стройинформ, 2004. — 424 с.
3. Кувшинов, Ю.Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения / Ю.Я. Кувшинов. — М. : АСВ, 2007. — 96 с.
4. Сибикин, Д.Д. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха / Д.Д. Сибикин. — М. : Инфобук, 2006. — 304 с.
5. Хрусталеv, Б.М. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Б.М. Хрусталеv, Ю.Я. Кувшинов, В.М. Копко. — М. : АСВ, 2005. — 576 с.
6. Одельский, Э.Х. Лабораторный практикум по отоплению, вентиляции, газоснабжению, гидравлическим машинам, холодильным установкам и теплоснабжению / Э.Х. Одельский. — М. : Высшая школа, 1964. — 277 с.