

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Тульский государственный университет»**

Институт горного дела и строительства

Кафедра «Санитарно-технические системы»

Утверждено на заседании кафедры  
«Санитарно-технические системы»  
« 20 » января 2023 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой



Р.А. Ковалев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

учебной дисциплины (модуля)

**«Вентиляция»**

**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**08.03.01 – "Строительство"**

с направленностью (профилем)  
**"Теплогазоснабжение и вентиляция"**

Форма(ы) обучения: *очная, очно-заочная*

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-06-23

Тула 2023 год

Методические указания по лабораторным работам составлены ст. пред. Г.Н. Зеленко и обсуждены на заседании кафедры «Санитарно-технические системы» протокол № 5 от « 20 » 01 2023 г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Р.А. Ковалев

Методические указания по СРС пересмотрены и утверждены на заседании кафедры «Санитарно-технические системы»

протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Р.А. Ковалев

Методические указания по СРС пересмотрены и утверждены на заседании кафедры «Санитарно-технические системы»

протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Р.А. Ковалев

## Лабораторная работа №1

### Измерение давления воздушного потока в воздуховоде

#### **Цель работы:**

Освоить методику измерения давления и скорости в воздуховоде с помощью напорной трубки и дифманометра ДМЦ-01 М.

#### **Задачи работы:**

1) Изучить принципы действия приборов различного типа, применяемых для измерения давления, скорости и расхода воздушного потока в каналах вентиляционной сетки. Изучить конструкцию напорных трубок различных модификаций.

2) Приобрести практические навыки по измерению различных видов давления в потоке на участках вентиляционной установки, работающих в режиме нагнетания и всасывания.

### 1. Виды давления воздуха в воздуховоде (Теоретические основы)

Давлением ( $P$ ) называется физическая величина, численно равная силе ( $F$ ) действующей на единицу площади ( $S$ ) поверхности перпендикулярно этой поверхности ( $P=F/S$ )

#### **Статическое давление**

Давление газа, (заключенного в ёмкость) на стенки сосуда по молекулярно-кинетической теории (МКТ) представляет собой суммарную силу движущихся молекул газа на единицу площади внутренней по поверхности стенок сосуда. Эта сила зависит от степени сжатия газа и определяет *потенциальную* энергию газа в закрытой ёмкости. Это давление называется абсолютным статическим давлением.

Это давление можно измерить прибором, представляющим U- образную трубку с рабочей жидкостью (ртутью, спиртом), при этом один конец трубки должен быть запаян и воздух над жидкостью выкачан (создан вакуум), а второй соединен с сосудом, в котором измеряется  $P_{абс.ст}$  (рис.1а)

Если первый конец U- образной трубки будет не запаян (рис. 1б), а открыт - (связан с атмосферой), - *то разница уровней жидкости будет соответствовать величине разницы давлений атмосферного ( $P_{атм.}$ ) и абсолютного статического ( $P_{абс.ст}$ ), то есть величине **избыточного статического давления в сосуде ( $P_{изб.ст}$ )**.*

$$P_{изб.ст} = P_{абс.ст} - P_{атм} \quad (1)$$

Если газ находится в сжатом состоянии, то  $P_{абс.ст} > P_{атм}$ , а избыточное статическое будет *положительным (со знаком «+»)*, а если в разреженном состоянии, то  $P_{абс.ст} < P_{атм}$ , избыточное давление будет *отрицательным (со знаком «-»)*.

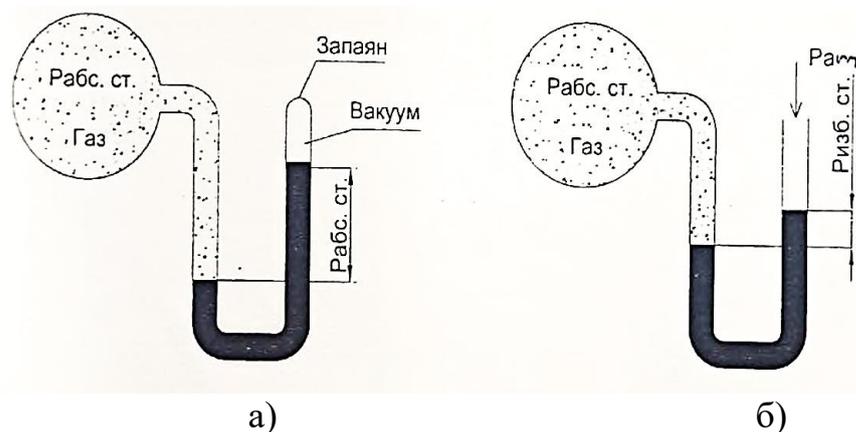


Рисунок 1 – Приборы для измерения статического давления газа в сосуде: а) абсолютного б) избыточного.

Приборы, работающие по схеме, показанной на рис. 1, б называются **манометрами**. Манометры, имеющие верхний предел, не более 4 кПа (400 мм.вод.ст.) называются **микроманометрами**.

Так как измерить избыточное давление газа (или жидкости) в емкости проще, чем абсолютное, в инженерной практике применяют только величину избыточного давления, при этом слово «избыточное» опускается – оно подразумевается. Если речь идет, о *давлении газа в сосуде* – опускается и слово «статическое».

#### **Динамическое давление.**

При движении воздуха в каналах вентиляционной сети (как и любого газа в трубопроводах) кроме *статического давления, действующего во всех направлениях (по закону Паскаля) одинаково, имеет место динамическое (скоростное) давление воздуха, действующее только в направлении его движения.*

*Динамическое ( $P_d$ ) (или скоростное ( $P_{ск}$ )) давление воздуха в воздуховоде характеризует кинетическую энергию потока и определяется по формуле*

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

где  $v$ - скорость потока м/с,  $\rho$  – плотность воздуха кг/м<sup>3</sup>.

*Если статическое давление воздуха в канале может быть положительным или отрицательным, то динамическое давление везде положительное (со знаком «+»).*

#### **Полное давление.**

*Полное давление или общее ( $P_{пол}$  или  $P_{общ}$ ) воздуха в воздуховоде представляет собой алгебраическую сумму статического и динамического давления и характеризует полную энергию воздушного потока.*

$$P_{пол} = P_{ст} + P_d, \text{ или } P_{общ} = P_{ст} + P_d \quad (3)$$

В международной системе единиц СИ за единицу давления газа  $P_{ст}$ ,  $P_d$ ,  $P_{пол}$  принята производная единица 1Н/м<sup>2</sup>, названная Паскалем (Па). В приложении А приведены соотношения между системными и внесистемными

единицами измерения давления, применяемыми в вентиляционной технике (бар, атмосферы, мм.рт.ст.; мм.вод.ст.).

Иногда в технической литературе вместо термина «давление» применяют устаревшее (но прочно укрепившееся в вентиляционной практике) термин **напор**: *статический напор*  $H_{ст}$ , *динамический напор*  $H_d$ , *полный напор*  $H_{пол}$ , *потери напора*, *напор вентилятора*, при тех же единицах измерения, что и давление.

Полное давление (или напор) на всасывающей линии вентиляционной сети (до вентилятора по ходу движения воздуха) всегда *отрицательное*, а на нагнетательной (после вентилятора) – *положительное*. Давление полное по ходу движения воздуха в воздуховоде всегда падает, так как полная энергия потока воздуха тратится на преодоления трения о стенки воздуховода местного сопротивления.

Динамическое давление (или напор) может увеличиваться или уменьшаться в зависимости изменения скорости (при изменении сечения воздуховода или расхода воздуха в нем), но всегда остается *положительным*.

Статическое давление (или напор) изменяется в результате изменения  $P_{пол}$  и  $P_d$ , но во *всасывающем* воздуховоде всегда остается *отрицательным*, а в *нагнетательном* – *положительным* (за некоторыми исключениями).

## 2. Средства для измерения давления воздуха в воздуховодах

### 2.1 Пневмометрические трубки

Для отбора давления  $P_{ст}$ ,  $P_{пол}$ ,  $P_d$  и передачи его на измерительный прибор (манометр) требуется применение *пневмометрической (напорной) трубки – приемника давления*. В настоящее время применяются *напорные пневмотрубки двух модификаций: трубка Пито-Прандтля и трубка модификации НИИОГАЗ*.

**Трубка Пито** была изобретена французским инженером - конструктором изобретателем Анри Пито (1732). Внутри трубка полая, конец её загнут под 90° (трубка Г-образная) и имеет по центру отверстие для отбора полного давления (рис.2 а). Применялась она при определении скорости воздушного потока. Для отбора статического давления в этом случае использовалась прямая полая трубка (*пъезометр*)

*Динамическое давление* определялось как разница  $P_{пол}$  и  $P_{ст}$ , а скорость из уравнения:

$$\frac{\xi v^2 \rho}{2} \approx P_d, \quad (4)$$

где,  $\rho$ - плотность воздуха в потоке кг/м<sup>3</sup>,  $\xi$ -коэффициент местного сопротивления трубки.

Немецкий гидравлик Л. Прандтль усовершенствовал трубку Пито, объединив трубки для измерения  $P_{пол}$  и  $P_{ст}$  в один прибор.

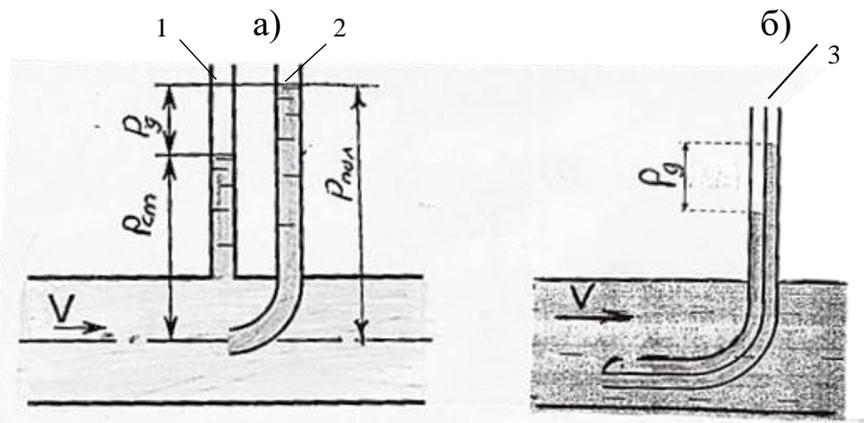


Рис.2 Принцип устройства напорных трубок: а) Пито и б) Пито-Прандтля: 1-пьезометр, 2 - трубка Пито, 3 - трубка Пито-Прандтля.

Динамическое давление определялось как разница  $P_{пол}$  и  $P_{ст.}$ , а скорость из уравнения:

$$\frac{\xi v^2 \rho}{2} \approx P_g, \quad (4)$$

где,  $\rho$ - плотность воздуха в потоке кг/м<sup>3</sup>,  $\xi$ -коэффициент местного сопротивления трубки.

Немецкий гидравлик Л.Прандтль усовершенствовал трубку Пито, объединив трубки для измерения  $P_{пол}$  и  $P_{ст}$  в один прибор.

**Трубка Пито-Прандтля** является комбинированным приёмником давления, которое передаёт на манометр для измерения (рис.2 б). Эта трубка устроена по принципу “труба в трубе” (рис.3). Во внутренний канал полное давление поступает через центральное отверстие в носике трубки, направленном на встречу воздушному потоку. Этот канал соединён со штуцером, условно обозначенным знаком “+”. Во внешний канал статическое давление поступает через боковое отверстие в стенке трубки. Этот канал соединён со штуцером со знаком “-”.

**Трубка Пито-Прандтля** позволяет измерить не только  $P_{пол}$  и  $P_{ст.}$ , но и  $P_d$ , если к измерительному прибору присоединить оба штуцера трубки, тогда манометр показывает разницу ( $P_{пол} - P_{ст.}$ ) т.е.  $P_d$ . (следует учесть, что в технической литературе можно встретить название этой пневмометрической трубки как трубка Пито, трубка Прандтля и (что наиболее верно) трубки Пито - Прандтля. (рис.3)

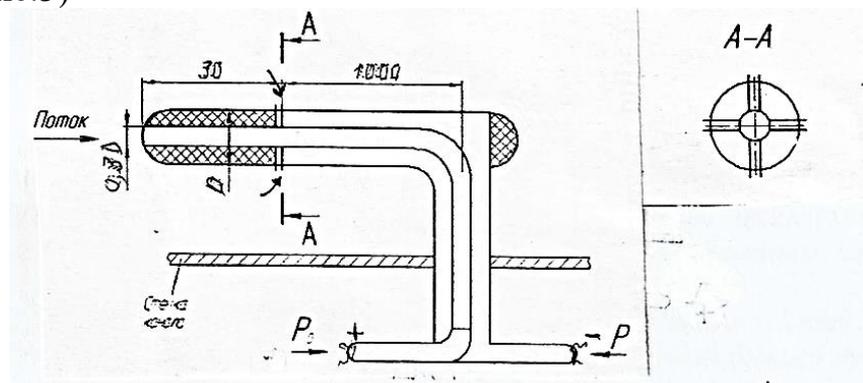


Рисунок 3 – Конструкция трубки Пито-Прандтля



скоростях движения воздуха более 5м/с. Приемник дает погрешность измерения не более 1%, при углах скоса до 45°

## 2.2. Микроманометр

**Жидкостный манометр.** Так как в системах вентиляции и кондиционирования воздуха избыточные давления  $P_{ст}$ ,  $P_{пол}$ ,  $P_{д}$  невелики, для измерения применяют микроманометры. Они бывают жидкостные U-образные и чашечные (рис.6)

*Принцип действия жидкостных манометров* основан на законе Паскаля – измеряемое давление уравнивается весом столба рабочей жидкости. В качестве рабочих жидкостей используются дистиллированная вода, этиловый спирт, ртуть. Применяются для измерения малых избыточных давлений и разрежений.

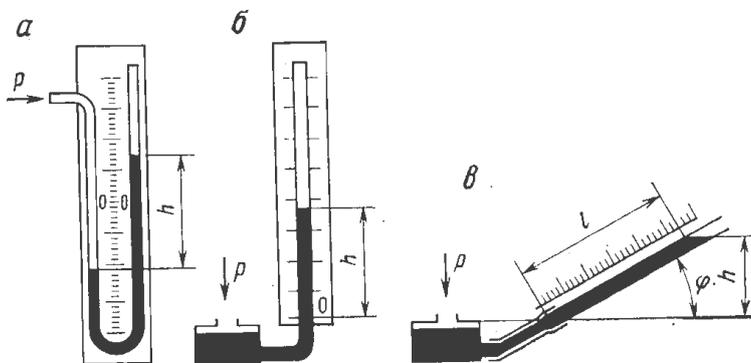


Рисунок 6 – Схема жидкостных манометров: а) U-образные, б) однотрубный чашечный с вертикальной трубкой, в) чашечный с наклонной трубкой.

### Чашечный жидкостный микроманометр ММН

Внешний вид микроманометра ММН (многоугольного) дан на рис.7.

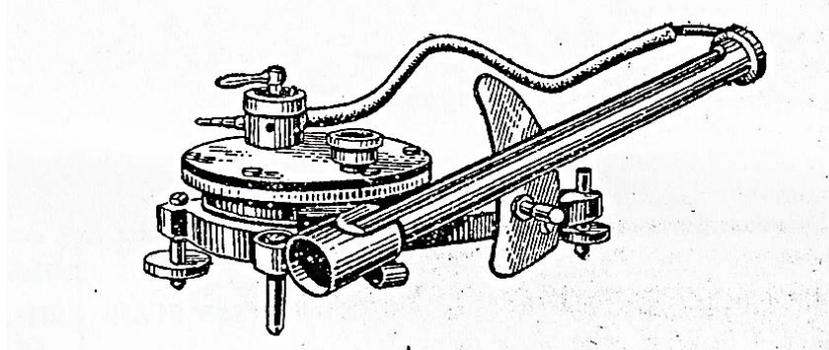


Рисунок 7 – Микроманометр ММН

Этот прибор устроен по принципу, показанному на рис.6в. Пределы измерения давления его от 0 до 2000 Па (от 0 до 200 мм вод.ст).

*Микроманометр состоит из резервуара и стеклянной трубки, которая может устанавливаться под различными углами к горизонту. В чашечных микроманометрах площадь зеркала жидкости в резервуаре превышает площадь поперечного сечения стеклянной трубки в 300-400 раз. При поступлении жидкости в капилляр уровень жидкости в резервуаре*

практически не изменяется и давление определяется высотой столба жидкости в капилляре. Для увеличения диапазона измеряемых давлений и получения приемлемой точности капилляр устанавливают под различными фиксированными углами к горизонту. На планке, поддерживающей стеклянный капилляр, имеются отверстия, соответствующие значениям постоянной прибора: 0,2, 0,3, 0,4, 0,6 и 0,8.

*Постоянная* прибора равна произведению синуса угла наклона стеклянной трубки на плотность жидкости, заполняющей чашку микроманометра (подкрашенный этиловый спирт). На трубке прибора нанесены миллиметровые деления.

*Микроманометр измеряет разницу давлений (например: абсолютного статического и атмосферного, одно из которых подается на жидкость в резервуаре; другое подается на жидкость в трубке), причем всегда следует большее из давлений подавать на резервуар.*

При этом условии уровень рабочей жидкости (спирта) в трубке будет подниматься, а в резервуаре опускаться. Если подключение будет иным, то жидкость уйдет из трубки в резервуар и микроманометр не даст показания.

Измерение давления воздуха в воздуховоде прибором ММН представляет собой довольно кропотливый процесс и требует не только знаний, но и иметь навык замеров. Подробное описание устройства прибора ММН-200 и методики замеров давления воздуха им приведена в прилож. Б.

Кроме жидкостных манометров для измерения давления и разряжения газов (воздуха) в каналах нашли применение деформационные и электрические манометры.

*Принцип действия деформационных манометров основан на зависимости степени деформации чувствительного элемента (трубки, пружины, мембраны, сильфона) от измеряемого давления или разницы давлений.*

*Электрические манометры функционируют по принципу зависимости одного из электрических параметров чувствительного элемента от давлений газа.*

*Манометры классифицируются так же по типу сигнала его передачи и преобразования: аналоговые, цифровые и аналогоцифровые, а по источнику питания: электрические, электронные и механические (без источника питания).*

На рис. 8 показан принцип измерения динамического давления  $P_d$  (или скорости потока  $v$  в зависимости от градуировки шкал измерения) с помощью мембранного манометра и напорной трубки Пито-Прандтля.

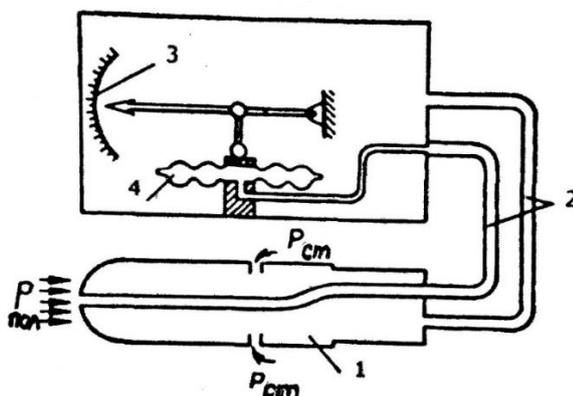
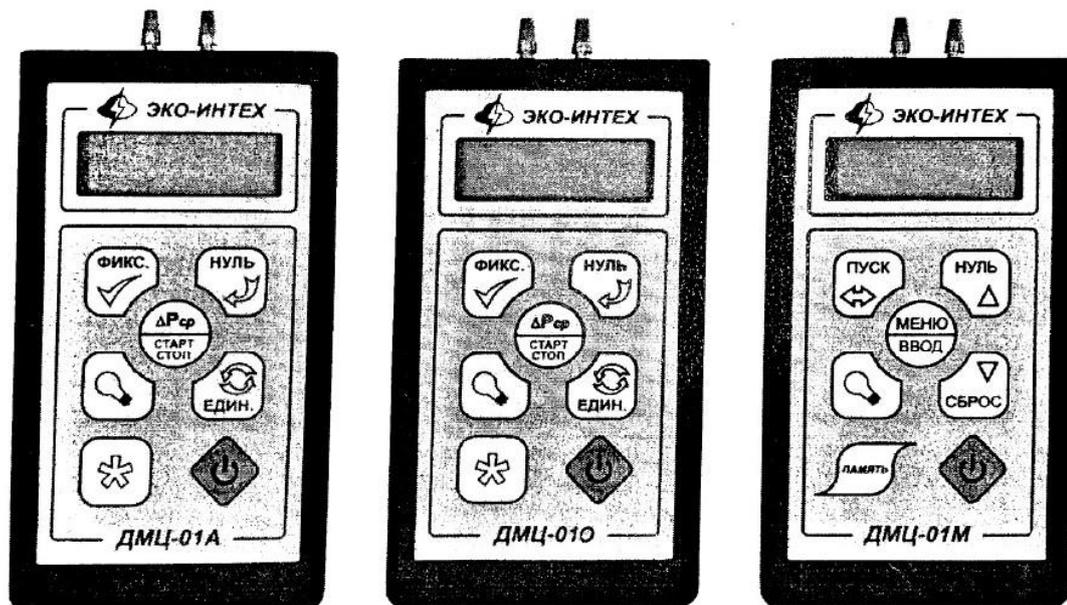


Рисунок 8- Схема работы мембранного манометра.  
1-трубка Пито-Прандтля; 2- воздуховоды;3-шкала указателя скорости  $v$  или  $P_d$ ;  
4-чувствительная мембрана

### 3. Манометр дифференциальный цифровой ДМЦ-01М

#### 3.1. Устройство и принципы работы

**Прибор ДМЦ-01 модификации М** (с обработкой данных) – это профессиональный цифровой прибор для измерения давления, разности давлений воздуха (газа), а также расхода воздушного потока в воздуховодах (Предел измерения давления от 0 до 2000 Па; от 0 до 200 мм. вод. ст).



Манометр дифференциальный цифровой ДМЦ-01А

Манометр дифференциальный цифровой ДМЦ-01О

Манометр дифференциальный цифровой ДМЦ-01М

Рисунок 9-Типы дифманометров ДМЦ-01

Прибор ДМЦ-01 состоит из 4 основных функциональных частей, размещенных в пластмассовом корпусе:

- мембранного полупроводникового датчика дифференциального давления;
- аналого-цифрового преобразователя;
- микропроцессора;
- панели управления работой прибора микрокристаллическим дисплеем

и кнопками.

На конце корпуса дифференциального манометра расположены два штуцера для подключения источника давления или напорной трубки.

ДМЦ-01 соединяется с пневмотрубкой одним или двумя шлангами (ПВХ, силиконовыми, резиновыми) необходимой длины.

**Принцип работы дифференциального манометра** типа ДМЦ-01 заключается в том, что измеряемое давление, приложенное к полупроводниковому датчику, преобразуется в электрический сигнал, величина которого пропорциональна измеряемому давлению воздуха (газа). Этот сигнал преобразуется аналого-цифровым преобразователем передается в микроконтроллер, который в соответствии с заложенной в память градуированной характеристикой выводит на дисплей прибора значения измеряемого давления.

В ДМЦ-01 – осуществляется автоматический расчет скорости и объемного расхода воздуха в каждой точке измерения с выводом результатов расчетов на дисплей, который снабжен подсветкой.

Предварительно в память вводятся параметры воздуховода (размеры или площадь поперечного сечения), коэффициент напорной трубки - $K_T$  и  $T_K$ -температура °К.

Коэффициент напорной трубки указывается заводом изготовителя (или органами метрологического контроля). Средний коэффициент трубки Пито-Прандтля при выполнении лабораторных работ может быть принят равным 1, а напорной трубки НИИОГАЗ – 0,6.

В микроманометре ДМЦ-01М реализована функция автоматического усреднения значений скорости и объемного расхода по всем замерным точкам в одном и том же поперечном сечении воздуховода.

После каждого измерения на дисплее прибора индицируются показатели:

- значения динамического давления в мм.вод.ст. или Па;
- локальная скорость в данной точке измерения;
- средняя скорость за N-количество измерений, м/с;
- среднее значение за N-количество измерений расхода воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

### **3.2. Основные расчетные зависимости**

Используемые условные обозначения величин и их единицы измерения:

S - площадь воздуха, м<sup>2</sup>

A-  $P_d$ ,  $P_{ст}$ , или  $P_n$  в зависимости от присоединения напорной трубки, мм.вод.ст. или Па;

$v$  – скорость воздуха, м/с;

M ( $\tilde{v}$ ) – средняя скорость воздуха м/с;

F – расход воздуха (газа) м<sup>3</sup>/ч

TK – температура воздуха, К;

Скорость газа в общем виде рассчитывается по формуле:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2K_T \cdot P_d}{\rho}} \quad (5)$$

где  $\vartheta$  - скорость потока, м/с

$P_d$  - динамическое давление, Па

$\rho$  - плотность воздуха в воздуховоде кг/м<sup>3</sup>

$K_T$  - средний коэффициент преобразования напорной трубки;

В приборе ДМЦ-01М при расчете скорости газа используется модифицированная формула

$$\vartheta = K_{пр} \sqrt{P_d} \quad (6)$$

где  $K_{пр}$  - обобщенный скоростной коэффициент, учитывающий  $K_T$  трубки напорной и изменения плотности воздуха от температуры; для воздуха  $K_{пр}$ , прибор рассчитывает автоматически и выводится на дисплей.

$$\text{при } P_d \text{ в Па} - K_{пр} = \sqrt{\frac{2T_k}{\rho \cdot 273}} K_T \quad (7)$$

$$\text{при } P_d \text{ в мм. в. ст.} - K_{пр} = \sqrt{\frac{2,9 \cdot 807 T_k}{\rho \cdot 273}} K_T \quad (8)$$

Прибор ДМЦ-01М измеряет и накапливает в своей памяти значения скорости воздуха максимум в  $N < 256$  точек. Каждая точка представляет за некоторый участок сечения воздуховода. После измерения во всех  $N$  точках сечения прибор определяет среднюю по сечению скорость воздуха.

$$M = \vartheta = \frac{1}{N} \sum \vartheta_i \quad (9)$$

Важно, что эта формула справедлива для разбиения сечения воздуховода на равновеликие площади, внутри которых локальная скорость  $V_i$  считается одинаковой.

Расход воздуха  $L$  м<sup>3</sup>/ч (в приборе идентифицируется буквой  $F$ ) определяется (с учетом плотности воздуха приведенной к 20°C) по уравнению:

$$L = F = 3600 \vartheta S \frac{293}{T_k} \quad (10)$$

### 3.3. Порядок замера давления в воздуховоде дифманометром ДМЦ-01М

1. После включения прибора он начнёт, прогрев датчика давления при этом число во второй строке указывает оставшееся время прогрева. Если прибор подаёт звуковой сигнал - значит аккумулятор разряжен.

2. Выбор пунктов меню осуществляется нажатием кнопки «пуск» (циклично), а подтверждение выбора пункта меню кнопкой «меню/ввод».

3. При выборе пункта меню «Стандартные коэффициенты» прибор начнет следующую индикацию: вывод значений исходных  $S$ ,  $N$ ,  $K_T$ .

При вводе значений кнопки меняют свои функции, теперь они предназначены для перемещения курсора по цифровым полям и для ввода цифр в эти поля: перемещение курсора кнопка «пуск» устанавливается нужная

цифра, а кнопкой «меню/ввод» подтверждается введение параметра (рис.10)

4. В пункте меню «Настройки прибора» доступны настройки:

- выбор единиц измерения давления;
- выбор режима работы: непрерывный или периодический, и другие настройки.

При непрерывном режиме прибор осуществляет измерения:

- перепады давления  $\Delta P$ :  $\Delta P = (P_n - P_{ст}) = P_d$ , или

$\Delta P = P_{ст} = (P_{ст.аб.} - P_{атм})$ , или  $\Delta P = P_n = (P_{абс.п} - P_{ат})$

в зависимости от схемы подключения напорных трубок;

- расчет скорости потока в точках ( $\vartheta$ )

индикацию их на дисплее примерно через каждые 10 секунд. Среднюю скорость (M) и объемный расход (F) в этом режиме работы рассчитываются нажатием кнопки «пуск».

При периодическом режиме прибор осуществляет измерение  $\Delta P$ , расчет локальной скорости  $\vartheta$  и среднего объемного расхода только при нажатии кнопки «пуск».

5. После нажатия кнопки «меню/ввод» прибор в режиме рабочей готовности к измерениям. Сброс счётчика количества измерений, усреднение скорости и расхода нажатием кнопки «сброс» в режиме рабочей готовности. Сброс счетчика и усреднений надо производить перед каждой новой серией измерений на одном сечении или при переходе к другому сечению.

6. Следует обратить внимание на стабильное положение корпуса, при котором производят измерения, из-за особенностей мембранного полупроводникового датчика. Измерения следует производить в том положении прибора, в котором был установлен нуль (Если изменить положение относительно горизонтальной оси на 90 градусов, то показания «уйдут» на 1,5 мм вод. ст.).

7. После того как прибор готов к измерениям следует подключить напорную трубку по схеме в зависимости от:

- типа напорной трубки Пито-Прандтля или НИИОГАЗ,
- от режима работа воздуховода,
- какое давление измеряется,  $P_d$ ,  $P_{ст}$ ,  $P_{пол}$ .

При выполнении лабораторной работы с использованием дифманометра ДМЦ-01М кроме вышеизложенных указаний в учебной лаборатории имеется отдельно выполненная заводом изготовителем краткая инструкция (рис.9) к работе с ДМЦ-01М Н.И. «Руководство к эксплуатации 5.910.000РЭ» Манометр дифференциальный цифровой ДМЦ-01М. 2011., где дается более подробное описание прибора и порядок выполнения замеров давления  $P_d$ ,  $P_{ст}$ ,  $P_{и}$ , скорости  $\vartheta$  и расходов воздуха L (F). (рис.11)

Схемы подключения напорных трубок к ДМЦ-01М при работе воздуховода в режиме нагнетания или всасывания даны на рисунках 12 и 13.

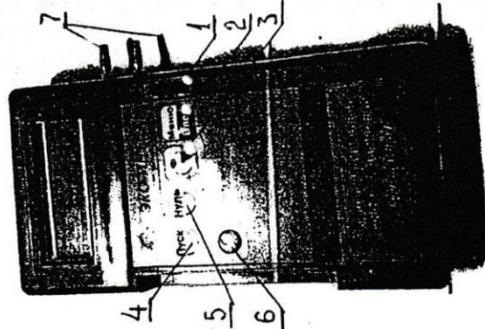


Рисунок 10- Кнопки прибора ДМЦ-01М

1. Включения (выключения)
2. Меню/ввод
3. Сброс
4. Пуск
5. Установка нуля
6. Подсветка экрана
7. Штуцера подсоединения напорной трубки

### КРАТКАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С ДМЦ-01М

**1. Включить прибор**  
кнопкой включения на лицевой панели прибора.  
На дисплее сообщение:  
ДМЦ - 01М  
«ЭКО-ИНТЕХ»  
Затем:  
ДМЦ - 01М  
«ПРОГРЕВ 55»  
Дождаться сообщения  
ДМЦ - 01М  
К РАБОТЕ ГОТОВ

**2. Очистка средних значений**  
Нажмите:   
Прибор, не устанавливая нуль, сбросит усредненные значения скорости и расхода.

**3. Ввод параметров потока**  
Для ввода новых параметров нажать кнопку .  
Затем, после сообщения «СТАНДАРТ.КОЭФ», нажать .  
Перемещая курсор кнопкой  по цифрам данного параметра, наберите новое значение с помощью клавиш    .  
Для перехода на следующий параметр нажмите кнопку .Завершить ввод параметров, нажав два раза кнопку .

ДМЦ - 01М  
К РАБОТЕ ГОТОВ

**5. Проведение измерений**  
5.1. Вставить подсоединенную к прибору пневматическую трубку в газоход в первую точку измерения и нажать .  
На дисплее:  
ИЗМЕРЕНИЕ N001  
ПОДОЖДИТЕ....  
Затем выводится текущий результат.  
5.2. Для проведения следующего замера переместить трубку в следующую точку и нажать кнопку .

5.3. По окончании замеров считать с дисплея средние значения скорости М и расхода F.

5.4. Установить нуль.  
Вынуть трубку из газохода, нажать кнопку .

Сообщение на дисплее:  
УСТАНОВКА НУЛЯ.  
Затем:  
ДМЦ - 01М  
К РАБОТЕ ГОТОВ  
Прибор произведет установку нуля и можно продолжить прерванную серию измерений.

**6. Питание прибора**  
При появлении на дисплее сообщения:  
БАТ. РАЗРЯЖЕНА.  
ВЫКЛЮЧИТЕ ПРИБОР  
или индикации зачерненной буквы «В» в момент выдачи на дисплее результатов измерения, произведите подзарядку прибора. Для этого штекер зарядного устройства подключите к прибору и включите в сеть 220 В. Заряд прибора допускается производить не более 20 ч.

**ВНИМАНИЕ!** Не оставляйте зарядное устройство подключенным к прибору и отсоединенным от сети 220 В.

Установка единиц измерения давления

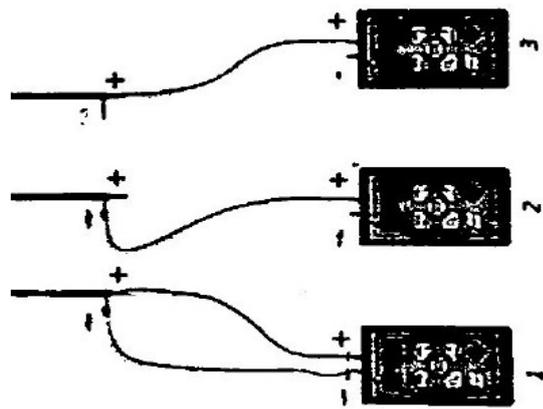
Нажать кнопку , выбрать пункт меню «НАСТРОЙКИ» кнопкой . Нажать . С помощью кнопки  выбрать единицы измерения: ммН2О или Па. Нажать . Пролистать пункты меню кнопкой «Ввод» до сообщения:

ДМЦ - 01М  
ГОТОВ К РАБОТЕ

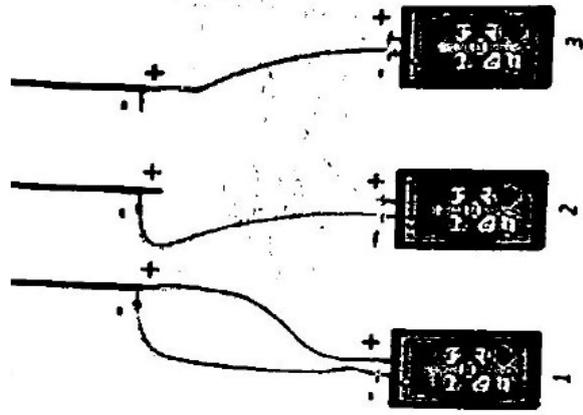
Рисунок 11 - Инструкция к работе с ДМЦ-01М

Рисунок 12- Схема подключения ДМЦ-01 трубки напорной модификации Пито-Прандтля:

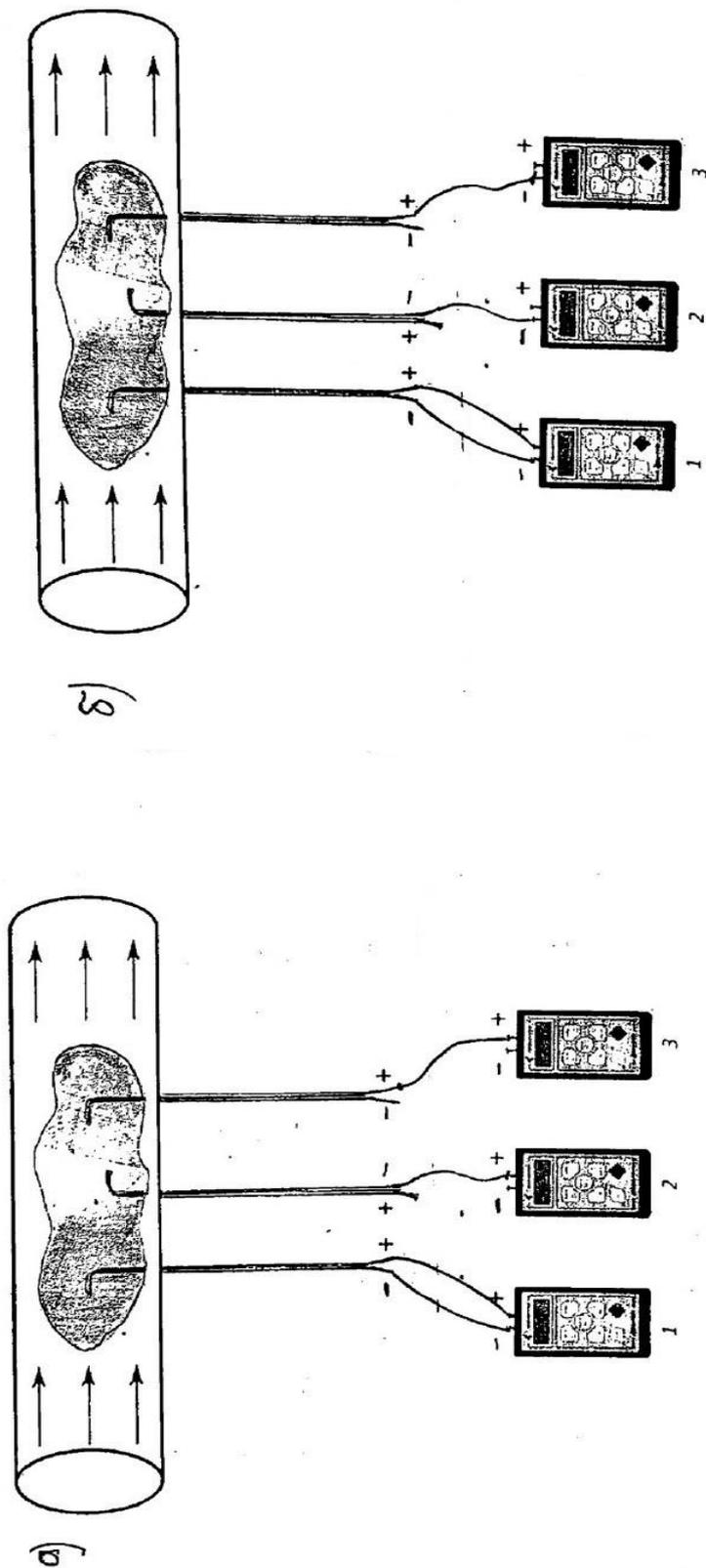
а) в воздуховоде режим нагнетания; б) в воздуховоде режим всасывания



1. Измерение динамического давления, скорости потока
2. Измерение статического давления
3. Измерение полного давления



1. Измерение динамического давления, скорости потока
2. Измерение статического давления
3. Измерение полного давления



1 Измерение динамического давления, скорости потока  
 2 Измерение статического давления  
 3. Измерение полного давления

1 Измерение динамического давления, скорости потока  
 2 Измерение статического давления  
 3. Измерение полного давления

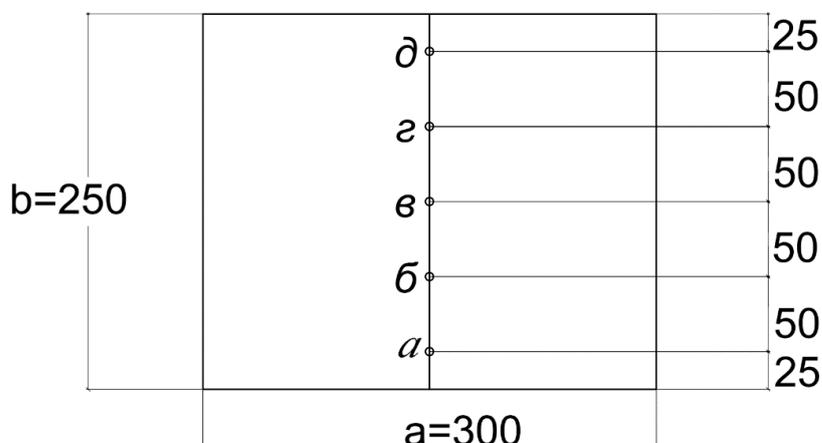
Рисунок 13- Схема подключения ДМЦ-01М напорной трубки модификации НИИОГАЗ:

а) воздухонвод в режим нагнетания; б) воздухонвод в режиме всасывания

## 4. Программа работы

### 4.1 Задание

1. Изучить теоретические основы, а также принципы работы средств измерения давления воздуха.
2. Подготовить приборы и средства для измерения давлений воздуха в каналах:
  - установить заряженный аккумулятор дифференциального микроманометра ДМ4-01 М;
  - определить в напорной трубке какой из штуцеров имеет знак “+”, а какой “-”;
  - проверить наличие резиновых шлангов.
3. Выбрать на модели два поперечных сечения воздуховода для замеров: *одно на всасывании, а другое - на нагнетании.*
4. Руководствуясь п. 3.3 настоящих указаний, установить в дифманометре в п. “Стандартные коэффициенты” значение коэффициента  $k=1$  трубки Пито-Прандтля и площади  $S$  поперечного сечения воздуховода.
5. Соединить микроманометр с напорной трубкой Пито-Прандтля для измерения *динамического давления  $P_d$*  в сечении воздуховода *в режиме нагнетания*, как показано на рис. 12 и 13.
6. Пользуясь указаниями п. 3.3 и краткой инструкцией рис. 11, произвести замер  $P_d$  в точках по высоте воздуховода по схеме:



7. Снять показания прибора - *среднего значения  $P_d$*  (из выполненных замеров) и *средней скорости  $V$*  воздуха в сечении, при нагнетании.
8. Переключая присоединенные трубки к микроманометру, замерить в этом же сечении в 5-и точках значение  $P_{ст}$ , а потом аналогично –  $P_{пол}$ , и определить средние из выполненных замеров значения давлений,  $P_d$ ,  $P_{ст}$  и  $P_{пол}$ , каждой из точек ( $a, б, в, г, д$ ).
9. В 5-и точек по высоте того же поперечного сечения воздуховода, не меняя положения трубки в воздуховоде (выполняя только переключение шлангов трубки к микроманометру), замерить  $P_{ст}$ ,  $P_d$  и  $P_n$  и проверить, выполняются ли условия:  $P_n = P_d + P_{ст}$  (формула 2), *для каждой из 5-и точек.*

10. Далее аналогичные замеры произвести в сечении воздуховода, работающего в режиме всасывания.

11. Результаты замеров оформить в таблицу:

Таблица №1 Результаты замеров

Сечение ... (режим нагнетания)			Сечение ... (режим всасывания)		
Точка замера	$P_{\partial}$ , Па	Скорость, м/с	Точка замера	$P_{\partial}$ , Па	Скорость, м/с
<i>a</i>			<i>a</i>		
<i>б</i>			<i>б</i>		
<i>в</i>			<i>в</i>		
<i>г</i>			<i>г</i>		
<i>д</i>			<i>д</i>		
Среднее значение			Среднее значение		

Таблица №2 Результаты замеров

Точка замера	Сечение ... (нагнетание)				Сечение ... (всасывание)			
	$P_n$	$P_{cm}$	$P_{\partial}$	$\Sigma P_{cm} + P_{\partial}$	$P_n$	$P_{cm}$	$P_{\partial}$	$\Sigma P_{cm} + P_{\partial}$
<i>a</i>								
<i>б</i>								
<i>в</i>								
<i>г</i>								
<i>д</i>								
Среднее значение								

## 4.2 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- наименование работы;
- цель работы;
- значение работы;
- аксонометрическую схему лабораторной установки с указанием схем сечений воздуховода, выбранных для эксперимента
- схемы присоединения микроманометра и напорной трубки для замера давлений воздуха в воздуховодах на нагнетании и на всасывании;
- таблицы результатов замеров;
- анализ полученных результатов, выводы.

Работу выполнил

(студент)

Работу принял

(преподаватель)

### 4.3 Контрольные вопросы

1. Что такое статическое, динамическое и полное давление?
2. Каков принцип действия микроманометра?
3. Принцип работы дифференциального манометра ДМЦ-01М?
4. От чего зависит точность замера с помощью микроманометра?
5. Каково устройство трубки Пито, Пито-Прандтля и трубки НИИОГАЗ?
6. Как замерить статический напор на всасывающей и нагнетательной линиях вентиляционной сети?
7. Как замерить динамический напор (давление) на всасывающей и нагнетательной линиях вентиляционной сети?
8. Как замерить полное давление (напор) на всасывающей и нагнетательной линии вентилятора сети?
9. Как подготовить микроманометр к замерам?
10. Полный напор на всасывающей линии вентиляционной сети положительный или отрицательный?
11. Какой знак (“+” или “-“) имеют полный и статический напоры на нагнетательной линии вентиляционной сети?
12. Какой знак (“+” или “-“) имеет статический напор на всасывающей линии вентиляционной сети?
13. Значения каких величин по результатам замеров выводятся на экране дисплея ДМЦ-01 М?

## Приложение А.

### Единицы измерения давления

В 1963 г. ГОСТом 9867-61 в СССР введена „Международная система единиц“ СИ. Эта система принята в качестве основной системы единиц большинством стран мира. Однако в инженерной практике и технической литературе встречается применение единиц измерения давления, а также тепла, энергии и тд. в устаревшей системе единиц МКГСС (метр, килограмм силы, секунда)

Любая системы единиц состоит из *основных и производных* Если в МКГСС *основной единицей была единица измерения веса 1 кгс, а единица массы вещества была производной*, то в системе СИ *масса вещества измеряется в кг (основной) а вес (сила) производной*. (ниже табл. А1)

Кроме основных и производных единиц измерения в любой системе есть *кратные и дольные* (граммы, миллиграммы и тд)

Кроме системных единиц при любой системе могут применяться внесистемные единицы более удобные в той или иной области техники. В Российской Федерации допускается применять только в случаях, когда количественные значения величин невозможно или нецелесообразно выражать в единицах систем СИ. Однако, они должны применяться с указанием их соотношений с основными или производными единицами измерения системы СИ. Всё выше сказанное касается и единиц измерения физических величин применяемых в области ОВ и СКВ (давления, тепла, энергии и тд)

В табл. А1 приводятся единицы измерения давления в системах СИ и МКГСС и связи их с основными единицами систем.

**Ниже приводятся единицы измерения физических величин наиболее, часто применяемых в ВиКВ.**

**Теплоёмкость:**  $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$

– воды  $c_w = 1$  ккал/кг · °с или  $c_w = 4,19$  кДж/кг · К;

– сухого воздуха  $c_b = 0,24$  ккал/кг · °с или  $c_b = 1$  кДж/кг · К;

**Теплосодержание** (энтальпия):

– воды  $\varphi = c_w t$  ккал/кг или кДж/кг;

– сухого воздуха  $\varphi = c_b t$  ккал/кг, или кДж/кг;

– влажный воздуха  $\varphi = c_b t + (z + c_{вп} t) d / 1000$ ;

**Скрытая теплота парообразования:**

$z = (587,3 - 0,56t) \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$  или при  $t = 0$

$z = 597 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$  или  $z = 2503$  кДж/кг

Таблица А1

## Единицы измерения физических величин, применяемых в ОБ и СКВ

Физическая величина	Системы единиц измерения	
	Система СИ	Система МКГСС
Основные		
Масса (m)	1кг	–
Сила (F)	–	1 кгс
Длина (l)	1м	1 м
Время (t)	1с (1ч)	1сек (1 час)
Производные		
Площадь (S)	1м <sup>2</sup>	1м <sup>2</sup>
Скорость (V)	1м/с	1м/сек
Ускорение (g)	1м/с <sup>2</sup>	1м/сек <sup>2</sup>
Сила F=mg	1н=1кг·м/с <sup>2</sup>	–
Масса m=F/g	–	1кгс·сек <sup>2</sup> /м (9,8кг)
Давление P=F/S	1н/м <sup>2</sup> =1Па 1кПа=10 <sup>3</sup> Па	1кгс/м <sup>2</sup> (9,8Па) 1кгс/см <sup>2</sup> (9,81· 10 <sup>4</sup> Па=98кПа)
Терло (Q)	1нм=1Дж 1кДж=10 <sup>3</sup> Дж	1кал (4,19Дж 1ккал=4,19кДж) 1кВт·ч=3,6· 10 <sup>5</sup> кГМ (3,6· 10 <sup>3</sup> кДж)
Работа	1нм=1Дж 1кДж=10 <sup>3</sup> Дж	1кГМ (9,8 нм=9,81Дж) 1кВт·ч=3,6· 10 <sup>5</sup> кГМ (3,6· 10 <sup>3</sup> кДж)
Тепловой поток, мощность	1нм/с=1Вт 1кВт=10 <sup>3</sup> Вт=3,6кДж/ч	1Вт, 1кВт=10 <sup>3</sup> Вт (3,6 кДж/ч)

## Коэффициент перевода внесистемных единиц. Таблица А2

## Давления в Па

	Па (н/м <sup>2</sup> )	МПа	кПа	бар	атм	мм рт.ст.	кгс/ см <sup>2</sup>	кгс/ м <sup>2</sup>	мм вод. ст.	М вод. ст.
Па (н/м <sup>2</sup> )	1	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>	1,01· 10 <sup>5</sup>	133,3	9,8· 10 <sup>4</sup>	9,8	10	10 <sup>4</sup>

## Приложение Б.

### Микроманометр ММН

#### 1. Устройство прибора

Микроманометр ММН (микроманометр многопредельный) предназначен для измерения давления в пределах от 0 до 200 Па (от 0 до 200 мм вод. ст.).

Общий вид прибора показан на рис.1. На силуминовой подставке укреплен стальной штампованный резервуар 1. Резервуар закрыт крышкой на резиновой прокладке. На крышке укреплен трехходовой кран 3 и регулятор нулевого положения мениска, служащий для подгонки мениска в измерительной трубке к нулевой риске шкалы. К подставке крепится кронштейн с измерительной трубкой 2.

Нижняя часть измерительной трубки сообщается с резервуаром, а верхний ее конец - с трехходовым краном. Измерительная трубка установлена так, что нулевая точка ее шкалы совпадает с осью вращения кронштейна. Каждое деление шкалы соответствует 1мм; длина измерительной трубки 250мм. Трубку можно установить в пять различных по углу наклона положений. Чтобы зафиксировать положение трубки, к подставке закреплена дуга 4, имеющая пять отверстий, в которые вставляется подпружиненный штифт.

Для установки микроманометра в горизонтальное положение на подставке размещены два уровня с цилиндрическими ампулами. Прибор заполняется спиртом-ректификатом, подкрашенным метилоранжем.

На рис.2 показана схема каналов трехходового крана.

Центральный канал крана ведет в полость резервуара, а отверстие "0" в боковой стенке предназначено для сообщения каналов в случае надобности с атмосферой. Штуцер а постоянно соединен со стеклянной трубкой, а штуцеры б и в служат для присоединения к микроманометру полости с измеряемым давлением. Через штуцер б, отмеченный на микроманометре знаком " - ", исследуемое давление передается на жидкость измерительной трубки, а через штуцер в, отмеченный на микроманометре знаком "+", - на жидкость в резервуаре. Возможны два положения трехходового крана. В первом случае, когда ручка трехходового крана повернута до упора против часовой стрелки (положение "0"), резервуар и измерительная трубка сообщаются с атмосферой, отверстия в штуцерах "+" и " - " перекрываются; при этом положении крана проверяется нуль прибора. При повороте крана по часовой стрелке до упора (положение "+") штуцер в сообщается с резервуаром, а штуцер б - со штуцером а и через него с измерительной трубкой, при этом ведущее в атмосферу отверстие перекрывается.

Для снятия показаний с микроманометра необходимо, чтобы на жидкость в сосуде действовало давление, большее, чем на жидкость в трубке. Площадь — сечения сосуда принята в 484 раза больше сечения трубки. Это позволяет \_ определять давление не по разнице уровней в трубке и сосуде , а по уровню в трубке, так как при различных давлениях уровень жидкости в

сосуде будет изменяться очень незначительно. Так как длина трубки 250 мм, верхние пределы измерения составляют 500 - 2000 Па. Погрешность прибора  $\approx 0,5...1$  %. По показаниям микроманометра  $l$  измеряемое давление определяется по формуле.

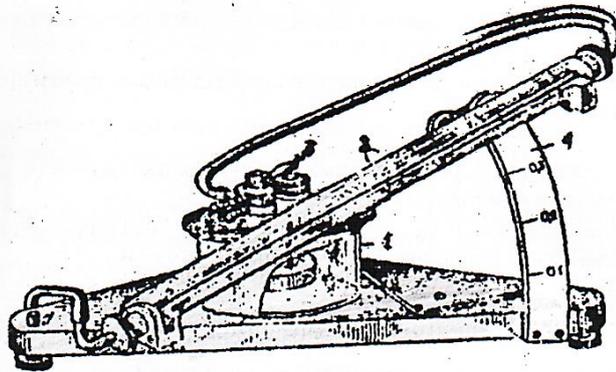


Рис.1 Микроманометр

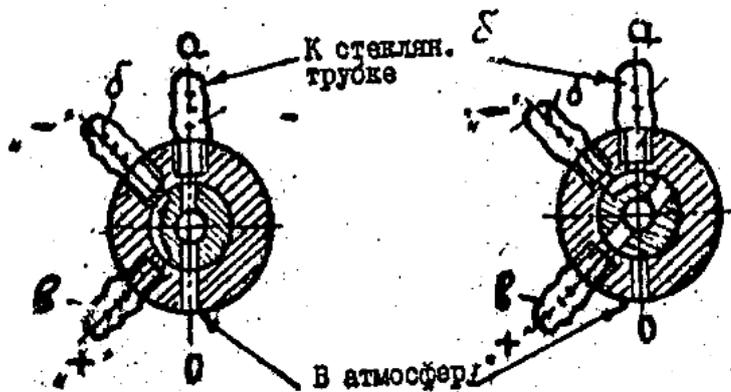


Рис.2. Схема положений трехходового крана:  
а – при контроле нуля; б – при измерении

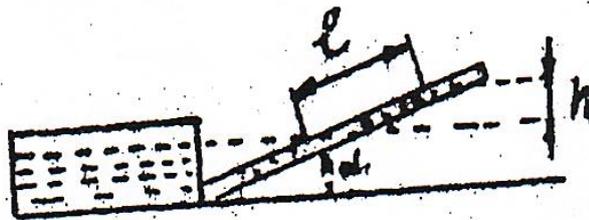


Рис.3. Схема микроманометра

$$P = h \times \pi, \quad \pi = l \times \sin \alpha, \quad P = l \times \sin \alpha = 1 \times k,$$

где  $\pi$  – коэффициент, учитывающий плотность спирта:

$\alpha$  – угол наклона трубки:

$h$  – высота вертикального столба жидкости (рис. 3);

$k$  – постоянный множитель, отмеченный на дуге микроманометра для соответствующего угла наклона трубки числами 0,2; 0,3; 0,4; 0,6;

Схема соединения штуцеров трубки и микроманометра зависит от того,

какое измеряется давление и на какой линии вентиляционной сети – нагнетательной или всасывающей (табл. 1 и рис. 4)

Таблица 1

Соединение штуцеров трубки Пито и микроманометра

Вид давления	Обозначение	Всасывание		Нагнетание	
		Знак трубки	Знак микроом	Знак трубки	Знак микроом
Статическое	$P_{ст}$	–	–	–	+
Полное	$P_{пол}$	+	–	+	+
Скоростное	$P_{ск}$	±	±	±	±

Если при замерах мениск в трубке колеблется, то следуем засечь среднее его положение или начальное и конечное, а среднее определить как среднее арифметическое этих значений.

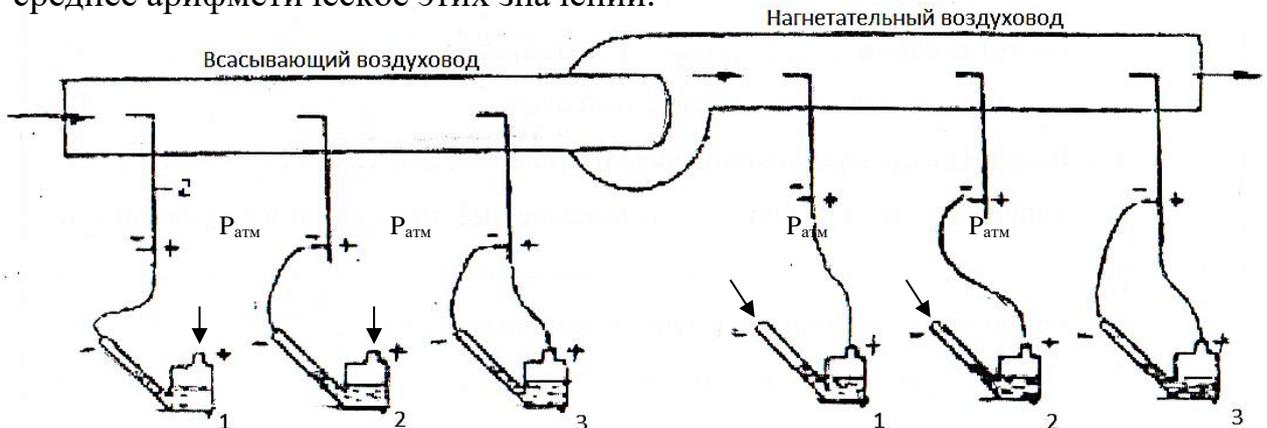


Рисунок 4

Схема соединения трубки-Прандтля к микроманометру ММН для измерения давления воздуха. 1- полного давления  $P_{пол}$ , 2- статического давления  $P_{ст}$ , 3- динамического давления  $P_{д}$ .

## 2. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

2.1. Установить прибор при помощи регулировочных винтов в строго горизонтальном положении, в указанном сечении воздуховода.

2.2. Установить кронштейн с измерительной трубкой в крайне верхнее положение под наклоном 0,8.

2.3. Поднять путем подсоса уровень спирта в измерительной трубке примерно до конца шкалы и убедиться в отсутствии воздушных пробок в столбике спирта. При наличии таковых их удаляют, выдув вместе со спиртом в резервуар.

2.4. Провернуть кран против часовой стрелки до упора, переставить кронштейн с измерительной трубкой на нужный угол наклона (0,3), при помощи корректировочного винта окончательно скорректировать нуль. Если это не удастся заметить начальный отчет  $l_{нач}$ .

### 3. ПРОГРАММА РАБОТЫ

Определить среднее значение статического, скоростного и полного давлений в одном из сечений всасывающего и нагнетательного воздухопроводов вентиляционной сети. Замеры произвести в следующей последовательности.

3.1. В заданном сечении воздуховода наметить (по вертикали) пять равноудалённых друг от друга замерных точек (а, б, в, г, д). Точка “в” должна находиться на оси “а”, а “и, д” – у стенок воздуховода.

3.2. Установить трубку в воздуховоде. Соединить её штуцера со штуцерами микроманометра, как указано в таб. 1.

3.3. Снять начальное показание микроманометра и перевести рукоятку трехходового крана в положение “+”, то есть подключить микроманометр к объекту измерения.

3.4. Снять показания прибора при замерах статического  $l_{ст}$ , динамического  $l_{дин}$  и полного  $l_{пол}$  напоров за вычетом начального отсчета  $l_{нач}$ .

Проверить правильность замеров, проверив равенство:

$$l_{пол} \cdot K_1 = l_{дин} \cdot K_2 + l_{ст} \cdot K_3 \text{ при } K_1 = K_2 = K_3 \quad l_{пол} = l_{дин} = l_{ст}$$

3.5. Последовательно произвести такие замеры для остальных четырёх точек сечения воздуховода. Результаты замера свести в табл.2.

3.6. Обработать результаты замера, определив сначала по показаниям микроманометра ( $l_{ст}$ ,  $l_{дин}$ ,  $l_{пол}$ ) соответственно статическое ( $P_{ст}$ ), динамическое ( $P_{дин}$ ), и полное ( $P_{пол}$ ) давления в каждой замерной точке, а затем вычислив среднее их значение.

## Лабораторная работа № 2

### ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ И РАСХОДА ВОЗДУХА В ВОЗДУХОВОДЕ

**Цель работы:** получить навык измерения скорости воздуха в воздуховоде с помощью напорной трубки и цифрового дифманометра ДМЦ-01.

**Задачи работы:** освоить методику определения скорости и расхода воздуха в воздуховодах вентиляционной сети с целью решения теоритических и практических задач вентиляции.

#### 1. Теоретические основы (Задачи измерения скоростей)

*Методика замера скоростей* воздушного потока в воздуховодах вентиляционной сети и *методика обработки полученных результатов замера* определяется целями измерения скорости, то есть для решения каких теоретических задач вентиляции нужны замеры скорости. При эксплуатации систем вентиляции и кондиционирования воздуха эти задачи могут быть разными. Ниже приведены некоторые чаще всего решаемые задачи.

**Задача первая.** *Определить скорость в какой-то конкретной точке воздуховода.* Эта задача решается просто: трубку Пито-Прандтля установить в воздуховоде так, чтобы носик трубки, направленный на встречу движению воздуха, размещался в этой точке, присоединить два конца трубки к двум штуцерам дифманометра и произвести отсчет – дисплей прибора покажет значение динамического давления  $P_d$  и скорости воздуха  $V$ .

**Задача вторая.** *Определить характер распределения скоростей воздуха в поперечном сечении воздуховода с целью выявления влияния стенок его (или других факторов) на формирование воздушного потока и определение степени (коэффициента) неравномерности потока.*

Для выполнения этой задачи следует разделить поперечное сечение воздуховода (условно) горизонтальными и вертикальными линиями на одинаковых расстояниях друг от друга в каждом направлении. В точках пересечения линий – точках замер, (одна из которых должна совпадать с центром поперечного сечения канала) – с помощью дифманометра и напорной трубки произвести замер скорости в точках, определить максимальную из них ( $V_{max}$ ), среднюю по сечению ( $V_{cp}$ ) и рассчитать коэффициент неравномерности распределения скоростей в поперечном сечении воздуховода:

$$K_{нер.} = V_{cp} / V_{max} \quad (1)$$

Для наглядности *неравномерности* поля скоростей строится *спектр скоростей* в поперечном сечении воздуховода и *эюры скоростей*. Следует иметь ввиду, что чем больше точек замера, тем нагляднее и точнее будет картина.

**Задача третья.** *Определить динамику скоростей воздуха вдоль воздуховода (от сечения к сечению) с целью выявления местных*

сопротивлений – поворотов, изменения сечения канала (плавных или внезапных) – при отсутствии ответвлений в исследуемом участке вентиляционной сети (то есть, когда расход воздуха должен быть постоянным); выявить имеет ли место утечки или подсосы воздуха.

Для этого на участках вентиляционной сети выбрать несколько характерных поперечных сечений (в частности до и после местного сопротивления), в которых на вертикальной оси канала в нескольких точках (в том числе и в центре) замерить скорости с помощью напорной трубки и дифманометра. Изобразив в масштабе вектора скоростей, можно получить *эюры скоростей*, которые покажут является ли поток воздуха симметричным относительно долевой оси его, «сбивается» ли он к той или иной стенки воздуховода или имеет место «завихрение потока». На рисунке 1 даны примеры эюры скоростей.

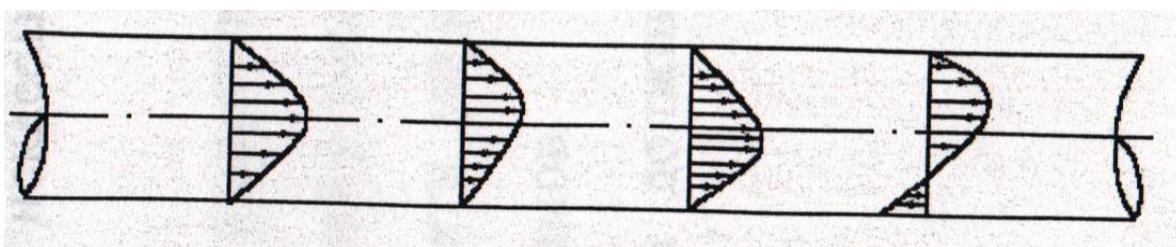


Рисунок 1.Примеры эюр скоростей

**Задача четвертая.** Чаще всего в практике эксплуатации вентиляционных систем задачи замера скорости связаны с определением расхода воздуха  $L$  ( $m^3/c$ ,  $m^3/ч$ ) в воздуховоде на отдельных участках сети с целью проверки соответствия фактического распределения воздуха по ответвлениям заданному (расчетному) или для определения фактической производительности вентиляционной сети, вентилятора.

Количество воздуха проходящего через сечение воздуховода с *неравномерным распределением потока* определяется по формуле

$$L = SV_{cp} = SK_{нер} V_{max} \quad (2),$$

где  $L$  - расход воздуха,  $m^3/c$ ;

$S$  – площадь сечения воздуховода,  $m^2$ ;

$V_{cp}$ ,  $V_{max}$  – соответственно средняя и максимальная скорость движения воздуха,  $m/c$ ;

$K_{нер}$  – коэффициент неравномерности.

При использовании цифрового электронного дифманометра ДМЦ-01 прибор по результатам замеров скорости в замерных точках сечения канала может вывести на экран дисплея и *среднее по сечению значения скорости и расхода воздуха в нем.*

Если при решении первых 3-х вышеназванных задач определение скорости воздуха исследователь может сам в зависимости от цели исследования выбрать место и число замерных точек (следует иметь ввиду, чем больше точек замера, тем точнее результат), то *при определении расхода воздуха выбор не может быть произвольным*, а должен соответствовать

правилам ГОСТа 12.3.018-79 (Стандарт безопасности труда. Система вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний). ГОСТ устанавливает методы измерения и обработки результатов при проведении испытаний вентиляционной сети для определения расходов воздуха и потерь давления.

Для измерения давления и скоростей движения воздуха в воздуховодах (каналах) должны быть выбраны участки с расположением мерных сечений на расстояниях не менее шести гидравлических диаметров ( $D_h$ , м) за местом возмущения потока (отводы, шиберы, диафрагмы и т.п.) и не менее двух гидравлических диаметров перед ним. Гидравлический радиус определяется по формуле:

$$r = \frac{S}{\Pi} = \frac{d}{4}, \quad (3)$$

где  $S$  и  $\Pi$  – соответственно, площадь и периметр сечения,  $m^2$ , м ;

Координаты точек измерений давлений и скоростей, а также количество точек определяется формой и размерами мерного сечения по рис. 2 и 3. Максимальное отклонение координат точек измерений от указанных на рисунке не должно превышать  $\pm 10\%$ . Количество измерений в каждой точке должно быть не менее трех.

Для ориентировочного определения расхода воздуха в каком сечении воздуховода измеряют динамическое давление на оси сечения и осевую скорость, которая и является, как правило,  $v_{max}$ . Чтобы учесть *неравномерность потока* и перейти от максимальной скорости к средней, можно воспользоваться графиком, представленном на рис. 4 составленным на основе экспериментальных данных.

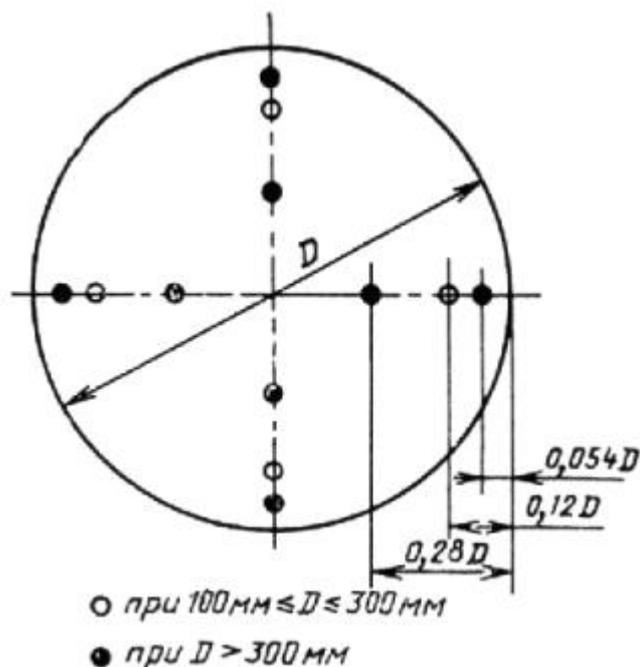


Рисунок 2. Координаты точек измерения давлений и скоростей в воздуховодах цилиндрического сечения.

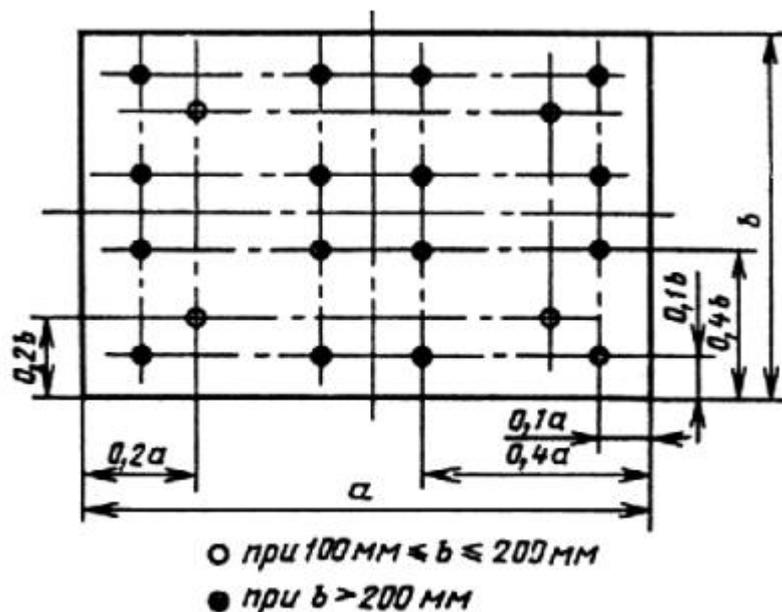


Рисунок 3. Координаты точек измерения давления и скоростей в воздуховодах прямоугольного сечения.

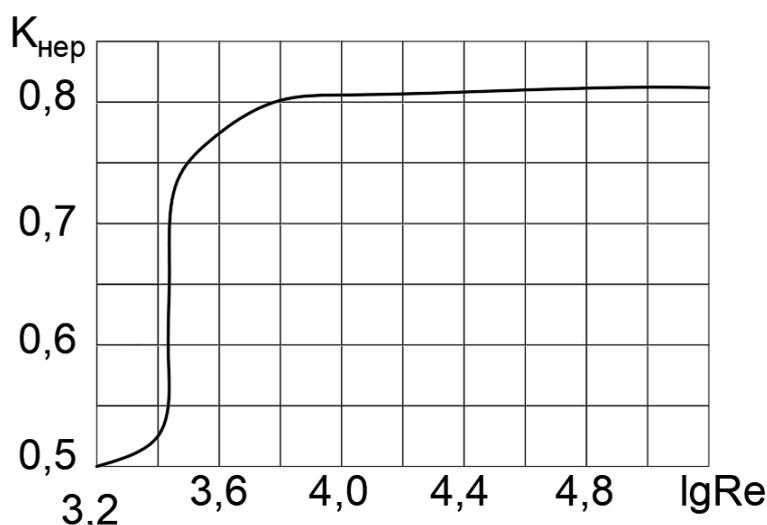


Рисунок 4. График зависимости коэффициента неравномерности.

Значения  $K_{\text{нер}}$  определяется в зависимости от режима движения воздуха, который характеризуется величиной критерия Рейнольдса

$$Re = \frac{v_{\text{max}} \cdot d}{\vartheta},$$

где  $d$  – внутренний диаметр круглого воздуховода или эквивалентный (по площади) диаметр прямоугольного воздуховода, м;

$\vartheta$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха,  $\text{м}^2/\text{с}$  (для нормальных условий  $\vartheta = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

Для турбулентного режима ( $Re > 10000$ )  $K_{\text{нер}} = 0,816$ , а для ламинарного ( $Re \leq 2300$ )  $K_{\text{нер}} = 0,5$ .

## 2. Аппаратура и обработка результатов

**Аппаратура.** Государственный стандарт 12.3.015-79 устанавливает определенные требования к классу точности приборов. т.е. для испытаний в частности для определения производительности вентилятора или расхода воздуха в вентиляционной сети требуется применять следующую аппаратуру:

- *Комбинированный приемник* – для измерения динамического давления при скорости движения воздуха более 5 м/с и статического давления в установившихся потоках,

- *Приемник полного давления* – для измерения полного давления потоков при скоростях движения воздуха более 5 м/с; этот прибор в отличие от напорной трубки Пито – Прандтля имеет только одно отверстие (и один штуцер для подключения к микроманометру), которое в момент измерения должно быть направлено навстречу потоку; *если приемник полного давления развернуть в обратное направление, то манометр будет измерять статическое давление;*

- *Термоанемометр* для измерения скоростей воздуха менее 5 м/с;

- *Барометр класса точности не ниже 1,0* для измерения давления в окружающей среде;

- *Психрометр и психометрические термометры* для измерения температуры и влажности воздуха по ГОСТу 112-78

При выполнении лабораторных работ (в учебных целях) *допустимо этим требованиям не следовать строго.*

**Обработка результатов измерений.** При определении скорости и расхода воздуха в воздуховоде при использовании цифрового дифференциального манометра ДМУ-01 на основании замеров динамического давления на экран дисплея прибора кроме  $P_d$  выводятся значения  $\vartheta$ ,  $\vartheta_{cp}$ , и  $L$ . Значения этих величин определяются по программам (заложенным в прибор), которые основаны на следующих зависимостях:

$$P_d = \left( \frac{\sum_{i=1}^z P_{di}^{0,5}}{z} \right)^2 \quad (4);$$

$$\vartheta_i = \left( \frac{2}{\rho} * P_d \right)^{0,5} \quad (5);$$

$$\vartheta_{cp} = \left( \frac{2}{\rho} P_d \right)^{0,5} \quad (6);$$

$$L = S \cdot \vartheta_{cp} = S \left( \frac{2}{\rho} \cdot P_d \right)^{0,5} \quad (7);$$

где  $L$  – объемный расход воздуха,  $\frac{м^3}{ч}$ ;

$S$  – площадь поперечного сечения воздуховода,  $м^2$ ;

$z$  – число замерных точек;

$\rho$  – плотность воздуха,  $кг/м^3$ ;

Плотность воздуха зависит от его температуры и влажности. Согласно уравнению Менделеева – Клапейрона, плотность идеального газа (масса единицы объема газа) находится из уравнения:

$$\rho = \frac{PM}{R(273 + t)} \quad (8);$$

где  $P$  – абсолютное давление, Па;

$M$  – молярная масса, для воздуха принята равной 29;

$t$  – температура воздуха, °С;

$R$  – универсальная газовая постоянная равная 8314;

Для воздуха при атмосферном давлении  $P_a = 101225$  Па и  $t = 20^\circ\text{C}$ :

$$\rho = \frac{101225 * 29}{8314 * (273 + 20)} = 1,2 \text{ кг/м}^3.$$

Для учета одновременно и влияния  $t$  и  $\varphi$  на эту величину вводится поправочный коэффициент  $K_\phi$ , значения которого приведены в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость коэффициента  $K_\phi$  от температуры и влажности перемещаемого воздуха.

t, °C	10		20		30		40		50	
φ, %	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100
$K_\phi$	0,998	1,003	1,000	1,005	1,004	1,012	1,010	1,025	1,020	1,040

### 3. Программа работы

1. Подготовить приборы и средства для измерения скорости воздуха в воздуховодах:

- дифференциальный манометр ДМЦ-01 М – проверить зарядку аккумулятора;

- напорная трубка Пито-Прандтля – проверить наличие резиновых шлангов нужной длины;

- аспирационный психрометр для измерения температура и влажности воздуха – смочить ткань в «мокром» термометре;

- рулетку (или другой измерительный инструмент) для определения размеров поперечных сечений воздуховодов, длины участков и т.д.

2. Выбрать поперечное сечение воздуховода на лабораторной модели вентиляционной сети (или два сечения: на нагнетании и на всасывании – по заданию), в котором можно определить скорости с замерных точек с целью определения степени (коэффициента) неравномерности воздушного потока в данном поперечном сечении воздуховода и построения эпюры скоростей. Схема размещения замерных точек в поперечном сечении воздуховода дана на рис. 5.

3. Соединить штуцера микроманометра с концами напорной трубки как для измерения динамического давления. Произвести замер скорости в каждой точке и определить *среднюю скорость по поперечному сечению воздуховода*. Результаты замера свести в таблицу 2.

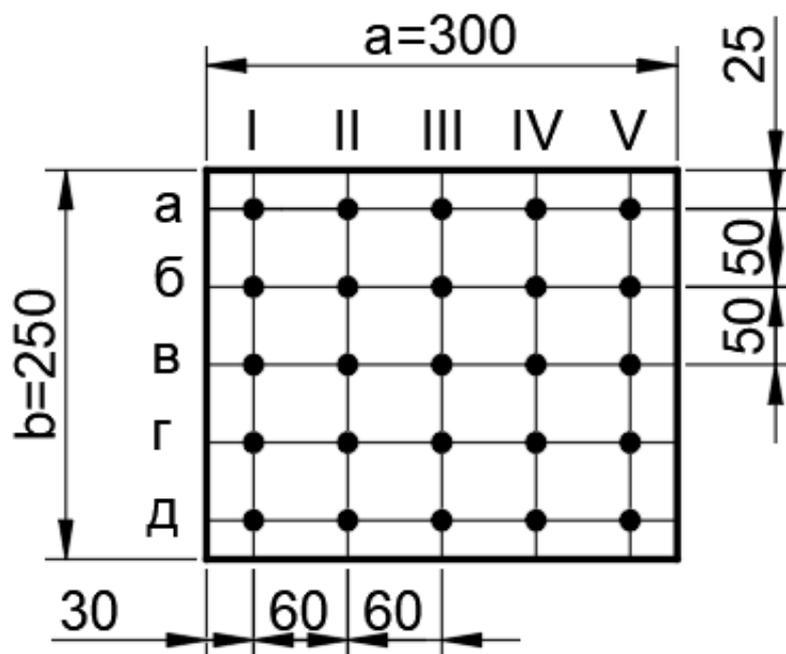


Рисунок 5. Схема размещения замерных точек

Таблица 2. Результаты замера скоростей  $V(\text{м/с})$  в точках поперечного сечения воздуховода.

Замерные точки по вертикали	Показания дифманометра, $\vartheta$ , м/с									
	Сечение на нагнетание					Сечение на всасывание				
	Замерные точки на горизонтали									
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
а										
б										
в										
г										
д										
Средняя от а до д										
Средняя скорость по сечению.....					Средняя скорость по сечению.....					

Коэффициент неравномерности распределения скорости воздушного потока равен  $K_{\text{нер}} = \dots$

4. В характерных поперечных сечениях вдоль воздуховода лабораторной модели сети (с целью определения и выявления влияния местных сопротивлений на динамику скорости от сечения к сечению вдоль воздуховода) замерить скорость в пяти точках по вертикальной оси

воздуховода (а,б,в,г,д в каждом поперечном сечении). Результаты замеров оформить таблицей 3.

Таблица 3. Значение скоростей в точках замера

Замерная точка по верт. оси	Поперечное сечение по длине воздуховода							
	1	2	3	4	5	6	7	и т.д.
а								
б								
в								
г								
д								
средн.знач.								

5. Выбрать одно или два сечения воздуховода, в которых можно измерить скорость в замерных точках в соответствии с ГОСТом 12.3.018-79 с целью определения расхода воздуха в поперечном сечении воздуховода (на всасывании или нагнетании).

Для воздуховода прямоугольного сечения размером поперечного сечения 300х 250 как показано на рис. 3 замерных точек должно быть 16. Результаты замеров по показаниям ДЦМ-01 свести в таблицу.

Таблица 4. Скорость воздуха в замерных точках в поперечном сечении воздуховода № (на нагнетание и на всасывание)

По вертикали/ По горизонтали	I	II	III	IV
а				
б				
в				
г				

Значения средней скорости по сечению по показаниям ДМЦ-01 М.

6. По формуле 2 определить объемный расход воздуха в поперечном сечении (без учета температуры и относительной влажности воздуха)

7. С помощью аспирационного психрометра измерить температуру воздуха  $t$ , °С и относительную влажность  $\varphi$ , %. Умножить расхода воздуха с учетом коэффициента  $K_{\varphi}$ .

#### 4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- наименование работы;
- цель работы;
- задачи работы;
- асконометрическую схему лабораторной установки с указанием на схеме сечений, выбранных для эксперимента;

- схемы замерных точек, в зависимости от задач замера скоростей;
- таблицы результатов измерений;
- спектр скоростей, - эюры скоростей;
- анализ полученных результатов, выводы.

## **5. Контрольные вопросы.**

1. При решении каких задач вентиляции воздуха требуется измерение скоростей внутри воздуховода.

2. Что является при выборе места расположения измерительного сечения в соответствие с требованиями ГОСТа.

3. Какой ГОСТ устанавливает метод аэродинамических испытаний вентиляционных систем.

4. От чего зависит выбор замерных точек в поперечном сечении воздуховода.

5. Что такое коэффициент неравномерности, как он определяется.

6. Каким образом определяется расход воздуха в поперечном сечении воздуховода.

7. От каких факторов зависит и плотность воздуха и как они учитываются при определении скорости и объемного расхода воздуха в поперечном сечении воздуховода.

Работу выполнил \_\_\_\_\_ (студент)

Работу принял \_\_\_\_\_ (преподаватель)

## Лабораторная работа №3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ВОЗДУХОВОДОВ

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения коэффициента трения эмпирически оценить влияние режима движения воздуха в воздуховоде и шероховатость стенок воздуховода на этот параметр.

**Задачи работы:** на лабораторном стенде определить фактические значения коэффициентов трения при различных скоростях движения воздуха. Изучить влияние сил трения на потери давления воздушного потока.

#### 1. Теоретические основы

*Побудителем* движения воздуха в вентиляционной сети, как правило, является вентилятор, который потребляя электроэнергию, передает воздушному потоку энергию в виде потенциальной энергии давления воздуха.

За счет этой энергии воздушный поток перемещается по воздуховодам, расходуя полученную энергию на преодоление сил трения о стенки воздуховода и преодоление местных сопротивлений. При трении энергия давления переходит в тепловую энергию, которая идет на нагрев воздуха (частично) и через стенки воздуховода передается в окружающую среду и рассеивается (т.е. для воздушного потока в воздуховоде она теряется).

Для воздуховода произвольной формы поперечного сечения (одинакового по всей длине) при неизменном расходе воздуха потери давления на трение  $\lambda$  определяются по формуле Дарси:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \frac{\Pi}{4S} \cdot \frac{\vartheta^2 \rho}{2} = \frac{\lambda l \vartheta^2 \rho}{4r} = \frac{\lambda}{4r} l, \quad (1)$$

где  $\Delta P_{\text{тр}}$  – потери давления на трение, Па;

$\lambda_{\text{тр}}$  – длина прямолинейного участка, м;

$\Pi$  – периметр воздуховода, м;

$S$  – площадь поперечного сечения воздуховода, м<sup>2</sup>;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

$V$  – скорость движения воздуха, м/с.

$r$  – гидравлический радиус, м.

Для воздуховода прямоугольного сечения:

$$r = \frac{S}{\Pi} = \frac{ab}{2(a+b)}, \quad \Delta P_{\text{тр}} = \frac{\lambda(a+b)}{2ab} \frac{\vartheta^2 \rho}{2}, \quad (2)$$

Для воздуховодов квадратного сечения:

$$r = \frac{a}{4}, \quad \Delta P_{\text{тр}} = \frac{\lambda l}{a} \frac{\vartheta^2 \rho}{2}, \quad (3)$$

где  $a$  – сторона квадрата, м.

Для воздуховода круглого сечения:

$$r = \frac{d}{4}, \quad \Delta P_{\text{тр}} = \frac{\lambda l}{d} \frac{\vartheta^2 \rho}{2}, \quad (4)$$

**Коэффициент трения** является переменной величиной и зависит от

характера движения жидкости в воздуховодах, который может быть ламинарным и турбулентным.

Критерием служащим для определения наличия того или другого характера движения, является критерий (или число) Рейнольдса –  $Re$ . Коэффициент трения при ламинарном режиме движения воздуха зависит только от числа  $Re$ . В частном случае для каналов круглого сечения:

$$R_c = \frac{vd}{\nu}, \quad (5)$$

где  $v$  – скорость воздуха, м/с;

$d$  – диаметр воздуховода, м;

для прямоугольного сечения  $d_э$  по площади  $me \cdot \frac{\pi d_э}{4} = a \cdot b$ ,

$\nu$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м<sup>2</sup>/с;

Значения коэффициента кинематической вязкости воздуха приведены в табл. 1:

Таблица 1 – Коэффициент кинематической вязкости:

Температура воздуха $t_v$ , °С	Коэффициент кинематической вязкости $\nu$ , м <sup>2</sup> /с
-20	0,0000113
-10	0,0000121
0	0,0000130
10	0,0000139
20	0,0000157
40	0,0000170
60	0,0000192

Критерий  $Re$  является величиной безразмерной. Ламинарный режим имеет место при  $Re < 2300$ , переходный – при  $3000 < Re < 10000$ , а турбулентный – при  $Re > 10000$ .

В пределах ламинарного режима движения воздуха коэффициент трения  $\lambda$  совершенно не зависит от степени шероховатости стенок и равен по формуле Пуазейля:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (6)$$

При турбулентном режиме движения, кроме чисел  $Re$ , коэффициент трения зависит также и от коэффициента относительно шероховатости  $k/d$ , где  $k$  – абсолютная шероховатость, т.е. средняя высота отдельных мельчайших выступов и неровностей на поверхности стенок в радиальном направлении (мм), а  $d$  – диаметр воздуховода (мм). Величина относительной шероховатости характеризует внутренние поверхности воздуховодов в гидравлическом отношении.

По мере возрастания числа  $Re$  влияние на значение  $\lambda$  сказывается меньше, при  $Re > 10000$   $\lambda$  зависит только от относительной шероховатости и можно использовать для практических расчетов формулу Б. Шеффренсона. Для некоторых режимов движения воздушных потоков более точные значения определяются по формулам И.Никурадзе или Блазиуса.

В расчетах вентиляционных воздуховодов и каналов распространение получила формула, предложенная А.Д. Альтшулем:

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \left( \frac{68}{Re} + \frac{k}{d} \right)^{0,25}, \quad (7)$$

Формула дает достоверные результаты для всех областей турбулентного режима движения воздуха и приближенные для ламинарного и переходного. Величины  $K$  и  $d$  в формуле (7), принимают в одинаковой размерности. Значения  $K$  приведены в табл.2.

Таблица 2 – Абсолютная шероховатость  $k$  стенок воздуховодов из различных материалов

Материал стенок воздуховода	$K$ , мм
Листовая сталь	0,1
Винипласт	0,1
Асбестоцементные плиты или трубы	0,11
Фанера	0,12
Шлакоалебастровые плиты	1,0
Кирпич	4,0
Штукатурка (по металлической сетке)	10,0

В инженерных расчетах потери давления на преодоление сил трения в воздуховоде определяют по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр}} = Rl, \quad (8)$$

где  $R$  – удельные потери давления на трение на 1м длины воздуховода, Па/м; для круглых воздуховодов  $R = \frac{\lambda}{d} \cdot P_d$ .

Для определения  $R$  металлических воздуховодов (при  $K=0,1$  мм) круглого сечения составлены таблицы и номограммы.

Для расчетов воздуховодов и каналов прямоугольного сечения пользуются таблицами и номограммами, составленными для круглых воздуховодов, но вводят при этом эквивалентный диаметр, при котором потери на трение в круглом и прямоугольном воздуховодах равны при одинаковой скорости потока (но не равных расходах воздуха).

Эквивалентный диаметр для прямоугольных воздуховодов определяют по формуле скорости:

$$d_{\text{э}} = \frac{2ab}{(a+b)}, \quad (9)$$

где  $d_{\text{э}}$  – эквивалентный диаметр (по скорости), м;

$a, b$  – размеры поперечного сечения прямоугольного канала, мм.

При расчете воздуховода с шероховатостью стенок – и значит с другим значением  $\lambda$  – предусмотренной в таблицах и номограммах следует делать поправку к табличному значению удельных потерь на трение:

$$R_{\text{ш}} = R \cdot \beta_{\text{ш}}, \quad (10)$$

где  $R$  – табличное значение удельных потерь давления на трение;

$\beta_{\text{ш}}$  – коэффициент учета влияния на коэффициент шероховатости стенок и величины давления воздуха.

Таблица 3 – Значения поправочного коэффициента  $\beta_{ш}$

$v$ , м/с	$\beta_{ш}$ при $K_{ш}$ , мм			
	1,0	1,5	4,0	10,0
0,2	1,04	1,06	1,15	1,31
0,6	1,11	1,16	1,33	1,60
1,0	1,16	1,23	1,46	1,77
2,0	1,25	1,35	1,65	2,04
3,0	1,32	1,43	1,77	2,20
4,0	1,37	1,49	1,86	2,32
5,0	1,41	1,54	1,93	2,41

$v$ , м/с	$\beta_{ш}$ при $K_{ш}$ , мм			
	1,0	1,5	4,0	10,0
6,0	1,44	1,58	1,98	2,48
7,0	1,47	1,61	2,03	2,54
8,0	1,49	1,64	2,06	2,58
9,0	1,51	1,66	2,10	2,62
10,0	1,53	1,68	2,12	2,66
11,0	1,54	1,70	2,15	2,69
12,0	1,56	1,71	2,17	2,72

## 2. Аппаратура и методика замеров.

Для выполнения необходимых замеров потребуется:

- напорные трубки – 2шт (4 шт);
- дифманометр ДМУ 01М – 1 шт (или 2шт);
- рулетка;
- аспиратор психрометр.

### **Методика замеров.**

Для определения коэффициента трения надо:

– на всасывающей или нагнетательной линии вентиляционной сети выбрать прямолинейный участок с постоянным сечением воздухопровода, с постоянным расходом воздушного потока (а значит и с постоянной скоростью) длиной не менее 2м;

– присоединить напорные трубки к штуцерам дифманометра как показано на схеме (рис. 1) и произвести замер; дифманометр выводит на экран дисплея величину разницу полных давлений в сечениях 1-1 и 2-2, которая на данном участке, где нет местных сопротивлений, равна потерям на трение т.е.  $\Delta P_{пол} = \Delta P_{тр}$ .

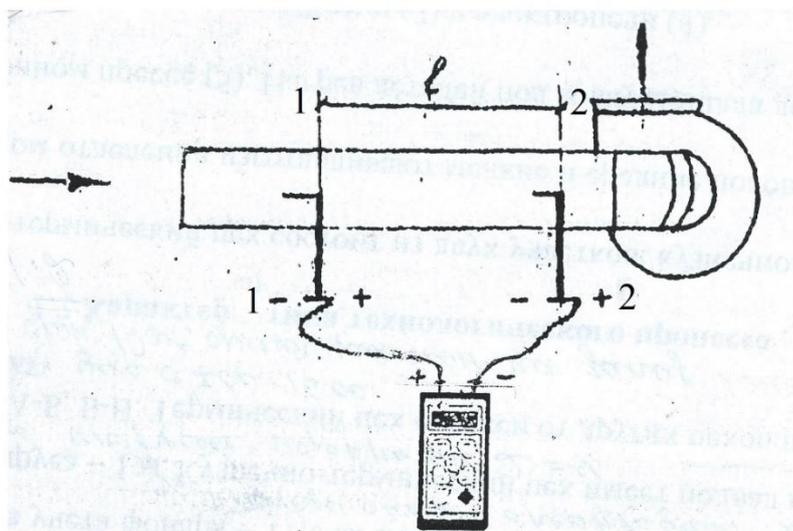


Рисунок 1. Схема установки аппаратуры для измерения  $\Delta P_{пол} = \Delta P_{тр}$

- учитывая неравномерность скорости воздуха по сечению воздуховода, следует замер произвести не только по центру, а в нескольких точках (а, б, с, д) на замерных линиях сечения 1-1 и 2-2 и получить показания дифманометра – среднее значение  $\Delta P_{тр}$ .
- замерить среднее значение (по точкам а, б, в, г, д) динамического давления и скорости; достаточно это выполнить либо для сечения 1-1 либо 2-2;
- коэффициент трения испытуемого воздуховода вычисляется по формуле Дарси (формула 1).

### 3. Программа работ.

#### 3.1 Задание

1. Изучить теоретические основы.
2. Подготовить приборы и средства измерения давления в воздуховоде.
3. Выбрать на лабораторном стенде вентиляционной сети прямолинейный участок с постоянным расходом воздуха и площадью поперечного сечения.
4. Замерить расстояние между замерными сечениями 1-1 и 2-2, т.е. длину  $L$  экспериментального участка, размеры поперечного сечения. Эти и другие геометрические и аэродинамические параметры участка воздуховода занести в табл. 4

Таблица 4 Параметры экспериментального воздуховода

Длина $L$ , м	Размер сечения $a \times b$ , мм	Площадь сечения, $S$ , м <sup>2</sup>	Периметр, $\Pi$ , м	Диаметр, эквивалентный по площади	Материал	Абсолютная шероховатость стенки

5. Замерить расстояние между замерными сечениями 1-1 и 2-2, длину  $L$  и размеры сечения воздуховода  $a \times b$ . Результат измерений оформить в виде таблицы (табл.4).
6. Присоединить две напорные трубки, установленные в сечении 1-1 и 2-2, к штуцерам дифманометра как показано на рис.1.
7. Произвести замер  $\Delta P_{пол}$  в замерных точках (а, б, в, г, д), перемещая трубки в сечениях 1-1 и 2-2, и определить *среднее значение  $\Delta P_{пол ср}$* .
8. В сечении 2-2 определить среднее (из замерных точек а, б, в, г, д) значение *динамического давления и средней скорости*, результаты занести в табл.5 для определения коэффициента трения  $\lambda$ .
9. С помощью шибера изменить расход воздуха в системе (и в том числе, на замерном участке) и повторить замеры, указанные в п.6. Замеры выполнить не менее чем в трех режимах.
10. Обработать результаты замера, рассчитав коэффициент трения для каждого из режимов, т.е. при разных значениях числа  $Re$ .

11. Рассчитать значения  $\lambda$  по формуле А.Д. Альтшуля (формула 7) и сравнить их со значениями, полученным в результате измерения.

Таблица 5 Значения коэффициента трения  $\lambda$  расчетно

Режим работы воздухопровода	Определенное экспериментально					Расчётное по формуле Альтшуля				
	$\Delta P_{\text{пол}} = \Delta P_{\text{мп}},$ <i>Па</i>	$P_g,$ <i>Па</i>	$V_{\text{ср}},$ м/с	$t^{\circ}\text{C}$	$\lambda$	$V,$ м <sup>2</sup> /с	Re	$d_f,$ м	$k/d_f$	$\lambda$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I										
II										
III										
IV										

### 3.2 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- наименование работы;
- цель работы;
- задачи работы;
- аксонометрическую схему лабораторной установки с указанием схем сечений воздухопровода, выбранных для эксперимента;
- схемы присоединения манометра и напорной трубки для замера давлений воздуха в воздухопроводах (на нагнетании или на всасывании);
- таблицы обработки результатов замеров;
- расчетные формулы;
- анализ полученных результатов, выводы;
- подписи:

Работу выполнил \_\_\_\_\_ (студент)

Работу принял \_\_\_\_\_ (преподаватель)

### 3. Контрольные вопросы.

1. Чем обусловлено наличие потерь давления на прямолинейном участке воздуховода?
2. Почему динамическое давление в воздуховоде постоянного сечения не изменяется?
3. Как измерить перепад давлений между двумя сечениями воздуховода при всасывающем режиме?
4. Что влияет на величину потерь давления в прямолинейном воздуховоде постоянного поперечного сечения?
5. Зависит ли коэффициент  $\lambda_{тр}$  от скорости движения воздуха?
6. Учитывает ли коэффициент  $\lambda_{тр}$  физические свойства воздуха?
7. Какие факторы влияют на величину коэффициента  $\lambda_{тр}$  ?
  8. В чем заключается физический смысл критерия Рейнольдса?

## Лабораторная работа № 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЗДУХОВОДОВ

**Цель работы:** Выяснить физический смысл коэффициента местного сопротивления  $\zeta$  и установить от каких факторов зависит его значение.

**Задачи работы:** Замерить разницу полных давлений – до и после местного сопротивления (отвода, тройника) – на участках лабораторного стенда вентиляционной сети и динамическое давление в замерных точках при разных режимах работы сети, вычислить для каждого варианта коэффициент местного сопротивления  $\zeta$ .

Проанализировать результаты работы, сделать выводы.

#### 1. Теоретические основы

При перемещении воздуха по воздуховодам имеет место потери удельной энергии потока на преодоление не только сил трения о стенки воздуховода по его длине, но и на преодоление так называемых *местных сопротивлений*, при переходе через различные фасонные части, в частности при разделении и слиянии воздушных потоков в тройниках и крестовинах, при изменении конфигурации потока.

*Местные сопротивления* – это короткий участок трубопровода, в котором скорость изменяется по величине или по направлению. На этих участках, как и в любом воздуховоде имеет место и потери на трение о стенки воздуховода, но в них возникают дополнительные потери энергии давления, связанные с отрывом потока от стенок и образование замкнутых вихревых структур, (на дополнительную турбулизацию воздушного потока, рис.1).

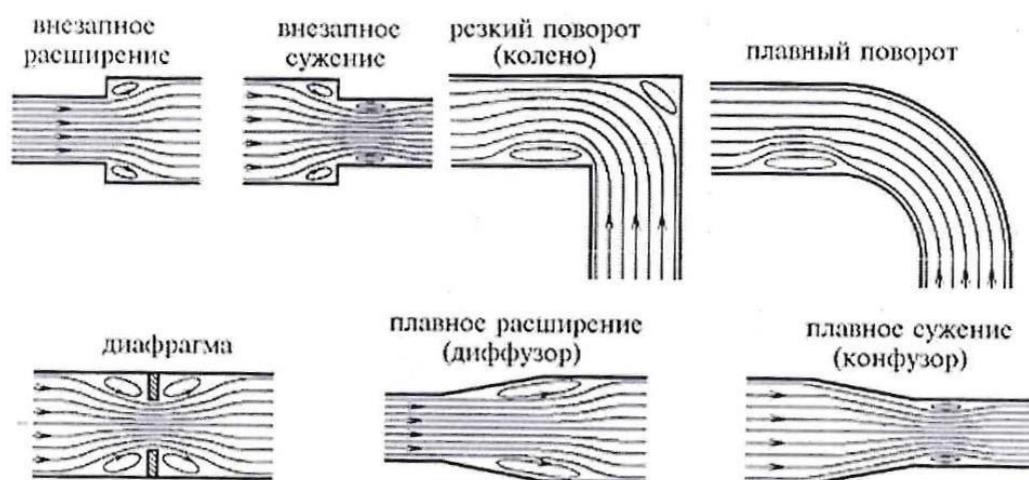


Рисунок 1 – Аэродинамика воздушных потоков в фасонных частях воздуховодов

Чем более активны отрывные течения и вихреобразования, тем больше потери давления при движении воздуха, тем больше давление (напор) должен развивать вентилятор, тем больше электроэнергии он должен потреблять.

Потери давления в местных сопротивлениях пропорциональны динамическому давлению воздуха в воздуховоде:

$$\Delta P = Z = \zeta \cdot \rho \cdot v^2 = \zeta \cdot P, \quad (1)$$

где  $\zeta$  – коэффициент местного сопротивления, величина безразмерная, зависящая от конструктивных особенностей и не зависящая от скорости;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$v$  – средняя скорость по сечению воздушного потока, м/с.

Для большинства геометрически подобных сопротивлений величины постоянны.

Независимость их от числа Re указывает на незначительность потерь на трение по сравнению с потерями от вихреобразований.

Как правило, коэффициенты местных сопротивлений определяются экспериментально.

При вычислении потерь давления необходимо знать к какой скорости относится табличное значение  $\zeta$ . В таблицах коэффициентов местных сопротивлений обычно указывается, к какой скорости они относятся.

Как правило,  $\zeta$  больше нуля, но может быть и меньше нуля. *Отрицательное значение может быть в ответвлениях тройников. Это означает, что при данных соотношениях расходов в ответвлениях и в стволе тройника происходит эжекция (подсасывание) воздуха ответвления основным потоком. В расчетах потерь давления в этом случае  $\zeta$  принимается со знаком «минус».*

*Как показано на рисунке 1, чем плавнее изменение конфигурации и соответственно скорости воздушного потока, тем меньше вихреобразование, а значит, и меньше потери энергии давления.*

Угол раскрытия диффузора с безотрывным течением воздуха не должен превышать 6°÷8°, что предопределяет громоздкость безотрывных диффузоров и их малую пригодность для применения в реальных вентиляторных системах.

Рекомендуемый угол раскрытия диффузора 12°.

В конфузорах отрывные течения развиваются менее активно, нежели в диффузорах, поэтому в них применяются большие углы раскрытия, чем у диффузоров, что позволяет уменьшить длину конфузора.

Общепринятым элементом, служащим для изменения направления подаваемого чистого воздуха, является отвод как круглого, так и прямоугольного (квадратного) сечения с соотношением радиуса изгиба к диаметру или ширине плоской части изгибаемого воздуховода равным

1,5. Для отвода круглого сечения, формируемого иззвеньев, –  $\zeta = 0,4$ . Прямоугольные и квадратные воздуховоды получают плавным изгибом стального листа, поэтому  $\zeta$  для квадратного сечения снижается до 0,17.

Редко применяемым приемом снижения коэффициента местного сопротивления отвода является применение лопаток Прандтля (рис.2).

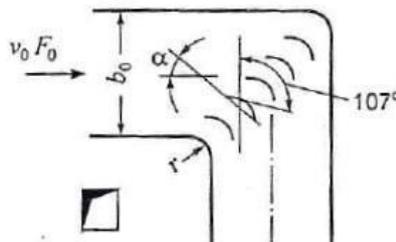


Рисунок 2 – Установка лопаток Прандтля в коленах прямоугольного сечения

Теория смещения потоков П.Н. Каменева предлагает конструкции *наивыгоднейших форм тройников*, обеспечивающих наименьшие потери давления при смещении потоков. Однако, эти конструкции сложнее, более трудоемкие в изготовлении и более громоздки относительно применяемых в настоящее время при проектировании и монтаже систем В и СКВ.

## 2 Методика замеров и обработка их результатов

Методика замеров. Для производства замерить необходимых для экспериментального определения коэффициентов местных сопротивлений КМС потребуется следующая аппаратура:

- напорные трубки Пито-Прандтля (2шт.)
- дифманометр ДМУ-01М (1шт.)
- рулетка
- аспирационный психрометр

На нагнетательном или всасывающем участке вентиляционной сети выбирается участок с местным сопротивлением (отводом, тройником, диффузором ит.д). КМС численно равен отношению потерь давления потока к скоростному давлению осле местного сопротивления, т.е является коэффициентом пропорциональности между потерями давления в местном сопротивлении динамическом давлении ( $P_d$ ).

$$\zeta = \Delta P_{мс} / P_d \quad (2)$$

поэтому для определения  $\zeta$  нужно знать потери давления воздушного потока в местном сопротивлении и динамическом давлении (напор).

Потери в местном сопротивлении определяются как разница полных давлений в сечениях воздуховода до него и после т.е.

$$\Delta P_{мс} = \Delta P_{пол1} - P_{пол2} = \Delta P_{пол}$$

Замерить с помощью напорных трубок и дифманометра можно сразу разницу т.е  $\Delta P_{пол}$  и присоединить напорные трубки, установленных в замерных сечениях (до и после м.с), к патрубкам дифманометра как показано на рис.3

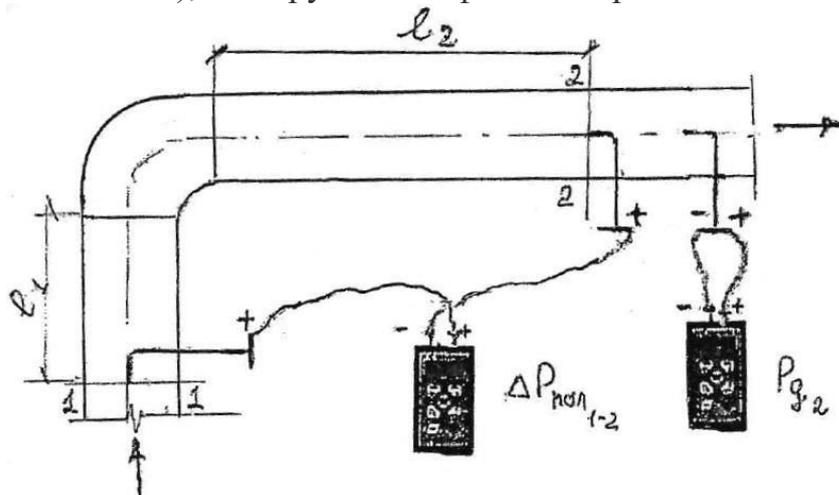


Рисунок.3. Схема замерных сечений для определения  $\Delta P_{пол1-2}$  и  $P_{ст2}$ .

Так как замер должен производиться на установленном воздушном потоке то в измеренное значение  $\Delta P_{пол}$  входит кроме  $\Delta P_{мс}$  еще и потери на падения воздуха на воздуховоде на прямых участках воздуховода длиной  $l_1$  и  $l_2$

При определении  $\zeta$  отвода размеры воздуховода воздушного потока до и после м.с одинаковы.

Значение коэффициента трения при расчетах принять равным полученным экспериментально (см. Лабораторную работу №6)

Или принять по справочнику для металлических воздуховодов.

Результаты замеров и расчетов сводятся в таблицу №1 Таблица №1

Экспериментальное значение  $\zeta$

Работа воздуховода	Результаты замеров					Результаты расчетов			
	$\Delta P_{пол}$ , Па	$\frac{P_{д1}}{P_{д2}}$ , Па	$\frac{v_1}{v_2}$ , Па	$\frac{L_1}{L_2}$	$\frac{a_1 \times b_1}{a_2 \times b_2}$	$\lambda$	$\Delta P_{тр1}$ , Па	$\Delta P_{тр2}$ , Па	$\zeta$
1									
2									
3									
4									

### 3.1 Программа работы

1. На лабораторном стенде вентиляционной сети выбирается участок, включающий местное сопротивление

-скругленный поворот, отвод на участке «ж-н»

- тройник на участке «д»
- местное сопротивление воздухоотвода участок «к»
- 2. Выбирается два сечения 1-1 и 2-2 до и после местного сопротивления на расстояниях 11.12
- 3. Замеряется динамическое давление  $P_{д2}$  (или  $P_{д1}, P_{д2}$ )
  - среднее из замеров в участках сечения (а.б.в.г.д)
- 4. Замеряется перепад полных давлений  $P_{пол}$  в сечениях 1-1 и 2-2 – среднее значение из замеров свести в таблицу №1 .
- 5. Вычисляется значение  $\zeta$  , результаты сводим в таблицу №1
- 6. Замер давлений и расчет  $\zeta$  выполняется при режиме max. работы вентилятора
  - .Режим работы меняется с помощью дроссель-клапана (шибера).
- 7. Анализируются результаты эксперимента.

### 3.2 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- наименование работы.
- цель работы.
- задачи работы.
- аксонометрическую схему лабораторной установки с указанием схем сечения воздухопровода, выбранных для эксперимента .
- схемы присоединения манометра и напорной трубки для замера давления воздуха в воздухопроводах (на нагнетании или на всасывании).
- таблицы обработки результатов замеров.
- расчетные формулы
- анализ полученных результатов. выводы.
- подписи.

Работу выполнил \_\_\_\_\_(Студент)

Работу принял \_\_\_\_\_(Преподаватель)

#### 4. Контрольные вопросы

1. Что называется местным сопротивлением вентиляционной сети?
2. Чем обусловлены потери давления воздуха в местном сопротивлении?
3. Как измеряются потери давления на участке имеющим местное сопротивление нагнетании и на всасывании.
4. Что такое коэффициент линейного сопротивления  $\zeta$  ?
5. Что влияет на величину?
6. Какие виды местных сопротивлений имеют место в вентиляционной сети?
7. Зависит ли значение  $\zeta$  от скорости и воздуха?
8. Какие факторы определяют значение  $\zeta$ ?
9. Какие известны приемы потери в линейном сопротивлении?

## Лабораторная работа № 5

### ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮРЫ ДАВЛЕНИЙ В ВОЗДУХОВОДАХ ВЕНТСИСТЕМЫ

**Цель:** Изучить закономерности изменения давления по длине воздуховода на всасывающей и нагнетательной линии вентиляционной сети

**Задачи:** Замерить полное, статическое и динамическое давление в замерных точках на всасывании и нагнетании в вентиляционной сети. Построить эпюру давления на основе результатов замеров и дать заключение о соответствии полученной эпюры теоретической, а так же сделать вывод о наличии утечек или подсосов воздуха.

#### 1. Теоретические основы

Распределение давлений в системе вентиляции необходимо знать для выполнения работ по наладке и регулированию вентиляционной системы, при определении расходов на отдельных участках сети воздуховодов и при решении других вентиляционных задач.

Профессор П.Н. Каменев предложил строить эпюры давлений в воздуховодах, присоединенных к вентилятору от абсолютного нуля давлений (абсолютного вакуума), что позволило выполнять построение эпюр давлений для всасывающей и нагнетательной частей сети одинаково. При построении эпюр давлений надо иметь ввиду, что микроманометр измеряет *избыточное, относительно атмосферного давления*: разрежение (отрицательное, во всасывающем воздухе) и напор (положительное, в нагнетательном).

При выполнении лабораторных работ № 4-7 можно было установить ниже следующие закономерности изменения давлений  $P_{пол}$ ,  $P_{ст}$  и  $P_{д}$  по длине воздуховодов.

*Полное давление в нагнетательном воздуховоде обязательно положительное* (полное абсолютное давление больше атмосферного), *а во всасывающем – отрицательное* (полное абсолютное давление меньше атмосферного).

Полное давление от сечения к сечению в направлении движения падает, так как полная энергия теряется на преодоление трения и местных сопротивлений. *Разница полных давлений в двух сечениях ( $\Delta P_{пол}$ ) равна сумме сопротивлений сети между этими сечениями.*

Полное давление от сечения к сечению падает *плавно*, если между этими сечениями имеет место только сопротивление трения, и *резко*, если встречается местное сопротивление.

Так как воздух, поступивший из окружающей среды в вентиляционную сеть, энергией не обладал, *полное давление перед входным сечением сети равно нулю, а в выходном сечении – динамическому давлению*, с которым воздух поступает в окружающую среду из вентиляционной сети.

*Динамическое давление.* Так как динамическое давление определяется скоростью движения воздуха, закономерности его изменения

соответствуют закономерностям изменения скорости.

Если воздуховод герметичен (нет подсосов или утечек) и расход воздуха от сечения к сечению не меняется, то скорость изменения обратно пропорционально изменению площади сечения воздуховода.

При плавном изменении сечения скорость и соответственно скоростное давление меняются плавно, при резком изменении сечения - резко.

*Динамическое давление по ходу движения воздуха может и увеличиваться, и убывать, но оно всегда **положительное**.*

*Статическое давление на всасывающей линии вентиляционной сети всегда отрицательное, а на нагнетательной, как правило, положительное, но может принимать и отрицательное значение.*

Изменения статического давления определяются изменениями полного ( $P_{пол}$ ) и скоростного ( $P_{ск}$ ) давлений.

*На срезе как входного, так выходного сечений  $P_{ст}$  равно нулю.*

Статическое и динамическое давления по пути движения потока могут изменяться самым различным образом, но так, что сумма их всегда уменьшается.

На рисунке 1 представлена, в качестве примера, схема распределения давлений во всасывающем и нагнетательном воздуховодах, присоединенных к вентилятору.

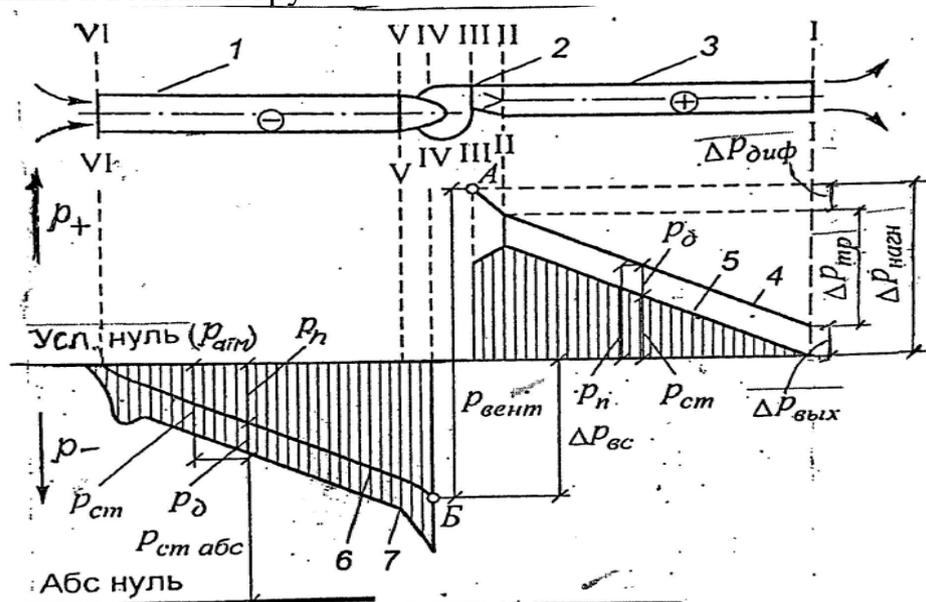


Рисунок 1. Схема распределения давлений в всасывающем и нагнетательном воздуховодах, присоединенных к вентилятору.

- 1- Всасывающий воздуховод; 2- вентилятор; 3- нагнетательный воздуховод; 4- линия полного давления нагнетательной стороны; 5- линия статического давления там же; 6- линия полного давления всасывающей стороны; 7- линия статического давления там же; I-VI номера сечений

Вентиляционная сеть состоит из нагнетательного (сечения I-I...III-III) всасывающего (сечения оси VI до V) воздуховодов постоянного сечения, (с постоянным расходом воздуха), присоединенных к вентилятору через конфузор и диффузор. В сечении I-I статическое давление равно атмосферному давлению (условный путь). Полное давление в этом сечении,

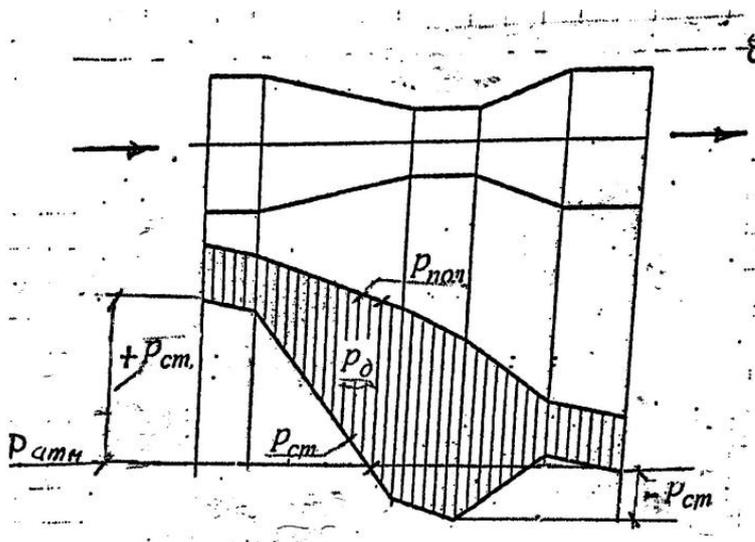
равно динамическому давлению  $p_d$ . В сечении II-II статическое давление  $p_{ст. II} > 0$ , т.к. численно равно потерям давления на трение между сечениями II-II и I-I. При постоянном сечении воздуховода скорость воздуха и динамическое давление в нем не изменяется и поэтому *линия статического давления – прямая. Линия полного давления также прямая*, параллельная линии  $p_{ст}$ , так как динамическое давление по длине воздуховода постоянно. *Расстояние между линиями статического и полного давления по вертикали равно динамическому давлению  $p_{d.I}$ .*

В конфузоре и диффузоре, расположенных между сечениями II-II и III-III, происходит изменение скорости потока. В конфузоре, в направлении движения воздуха скорость потока воздуха возрастает, увеличивается и динамическое давление, в диффузоре оно уменьшается. Максимальная величина полного давления на выходе из вентилятора определяется т. А, минимальная величина его – в плоскости всасывающего отверстия (точка Б). Полное давление, развиваемое вентилятором равно сумме этих давлений.

Давление, создаваемое вентилятором в сечении III-III, расходуется на преодоление сил трения  $\Delta p_{тр}$  и потерь в местных сопротивлениях присоединенной к нему сети. Теряемое при впуске воздуха в атмосферу динамическое давление в приточных воздуховодах учитывается сопротивлением воздухораспределителя.

Статическое и полное давление вне воздуховода со стороны всасывания, при условии неподвижности воздуха, равно атмосферному (условный нуль). В непосредственной близости от отверстия в пределах всасывающего факела поток воздуха уже обладает кинетической энергией, но полное давление равно атмосферному (условный нуль), а величину динамического давления  $p_d$  необходимо откладывать вниз от линии условного нуля. Далее, в направлении к вентилятору аэродинамические потери будут возрастать, их величина откладывается вниз от условного нуля, определяя положение точек линии полного давления. Линия статического давления располагается ниже линии полного давления на величину динамического давления. Резкое понижение линии статического давления после сечения VI-VI объясняется сужением потока на входе в воздуховод вследствие образования кольцевой вихревой зоны вблизи стенки воздуховода. Между сечениями V-V и IV-IV установлен конфузор с поворотом. Снижение линии статического давления между этими сечениями происходит вследствие увеличения как скорости потока в конфузоре, так и потерь давления.

Как ранее отмечалось,  $P_{ст}$  на нагнетании может иметь как знак “+” так и “-“ в отличии от других видов давления, которые могут иметь только один знак. На рисунке 2 показан график изменения давления  $P_{ст}$ ,  $P_{пол}$  и  $P_d$  в нагнетательном воздуховоде конфигурация, которого соответствует трубе Вентури.



Если в узкой части воздуховода, где  $P_{ст}$  отрицательно сделать отверстие в боковой стенке, то через него воздух будет не выходить наружу, а будет подсасывать внутрь.

Рисунок 2. График изменения полного,

динамического и статического давлений в нагнетательном воздуховоде с конфигурацией типа трубы Вентури.

## 2. Аппаратура и обработка результатов замеров.

**Аппаратура:** объектом исследования является лабораторная вентиляционная сеть (лабораторный стенд) из металлических воздухопроводов прямоугольного сечения. Для производства замеров требуется:

- Дифманометр - напорные трубки Пито-Прандтля 2 (или 4) шт;
- дифманометр цифровой ДМЦ-01М 1(или 2) шт;
- рулетка;
- термометр.

**Обработка результатов измерений.** После измерения в замерных точках вдоль воздуховода средних значений  $P_{пол}$ ,  $P_{ст}$ ,  $P_{д}$  смотрится эпюра фактического распределения давлений по длине вентиляционной сети.

**Построение эпюры напоров** проводится в следующей последовательности:

1. Изображается схема воздуховода с указанием заданных сечений.
2. Ниже точек воздухопроводов наносится условная линия атмосферного давления, на которую проектируются замерные сечения воздухопроводов.
3. От линии атмосферного давления на перпендикулярах, восстановленных из проекций замерных сечений, откладываются (при нагнетании-вверх, а при всасывании-вниз) отрезки, соответствующие величине полного давления в этих сечениях. Соединяя вершины отрезков, получаем **линию полного напора** (рисунок).
4. От линии полного давления на тех же перпендикулярах вниз (как на нагнетании, так и на всасывании) откладываются отрезки, соответствующие величинам скоростного напора в сечениях. Соединяя вершины этих отрезков получаем **линию статического напора**. Отрезки перпендикуляров между линией атмосферного давления и линией статического напора соответствуют значению динамического давления в сечениях.

### 3. Программа работы.

1. Начертить схему вентиляционной сети лабораторной модели в одну линию в масштабе. На схеме отметить буквенное обозначение участков и цифровое обозначение замерных сечений. (Отводы “спрямить”, и указать между какими запорными сечениями они стоят на модели.)

2. В каждом замерном сечении в пяти точках (а, б, по вертикальной оси воздуховода) замерить  $P_{\text{нап}}$ ,  $P_{\text{ст}}$ , и определить среднее значение. Результаты замеров оформить таблицей.

Таблица 1. Результаты измерений

Давление	Замерное сечение														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_{\text{пол}}$ , Па															
$P_{\text{ст}}$ , Па															
$P_{\text{д}}$ , Па															
$V$ , м/с															

3. Построить эпюру распределения давлений в лабораторной модели вентиляционной сети.

4. Проанализировать полученные результаты эксперимента. Дать заключение о соответствии полученной эпюры давлений теоретической эпюре (при конфигурации воздухопроводов лабораторной модели), а так же о наличии утечек или подсосов воздуха.

### 4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- Наименование работы;
- Цель работы;
- Задачи работы;
- Линейную схему лабораторной установки с указанием на схеме сечений, выбранных для эксперимента;
- Таблицы результатов измерений;
- Анализ полученных результатов, выводы.
- Подписи

Работу выполнил  
студент \_\_\_\_\_

Работу принял  
преподаватель. \_\_\_\_\_

## 5. Контрольные вопросы.

1. Как изменяется полное давление воздушного потока вдоль оси воздухопроводов.
2. Какие факторы определяют изменение полного давления от сечения к сечению в направлении движения воздуха.
3. От чего зависит изменения динамического давления.
4. Каковы причины изменения статического давления.
5. Какой знак “+” или “-” имеет полное давление на всасывании, его влияние на входе и выходе из воздуховода.
6. Какой знак “+” или “-” имеет статическое давление на всасывание (или нагнетание).
7. Какова последовательность построения эпюр давлений.

## Лабораторная работа № 6

### Исследование истечения воздуха через боковые отверстия в воздуховоде отверстия в воздуховоде постоянного поперечного сечения

**Цель работы:** Исследовать закономерности изменения по величине и направлению скоростей истечения воздуха через боковые отверстия в воздуховоде постоянного сечения.

**Задачи работы:** На участке вентиляционной сети (лабораторного стенда), представляющем собой прямолинейный воздуховод прямоугольного постоянного сечения с шестью боковыми окнами измерить среднее значение статического давления в каждом окне и определить значение скорости истечения, установить неравномерности раздачи воздуха и разработать мероприятия для обеспечения равной раздачи через боковые окна.

### 1. Теоретические основы

Одним из способов организации притока воздуха в помещение является раздача его через боковые отверстия в стенке воздуховода.

*Эти воздуховоды называются воздуховодами равномерной раздачи и равномерно всасывания.* Они являются элементами многих вентиляционных и технологических устройств. *О «равномерностью воздуходачи»* понимают одинаковую величину расходов по длине щели или равенство расходов в отверстия в стенке воздуховода, через которые подается или удаляется воздух.

Силой, которая выталкивает или воздух из воздуховода или засасывает его, является статическое давление на стенке, которое является избыточным по отношению к атмосферному в случае раздачи воздуха и вакуумом при всасывании.

Размер отверстия или высота щели в стенке воздуховода определяются требуемым расходом воздуха и величиной статического давления в данной точке щели или оси приточного (вытяжного) отверстия.

При конструировании воздуховодов придерживаются 3-х способов обеспечения равномерности раздачи:

***Воздуховоды равномерной раздачи постоянного статического давления.*** Статическое давление по длине воздуховода постоянно, что обеспечивается соответствующим подбором размеров поперечного сечения. Это позволяет принимать одинаковыми высоту щели или размер отверстий в стенке, приточных или вытяжных воздуховодов, равномерной раздачи (всасывания) Ниже показаны несколько вариантов таких воздуховодов.

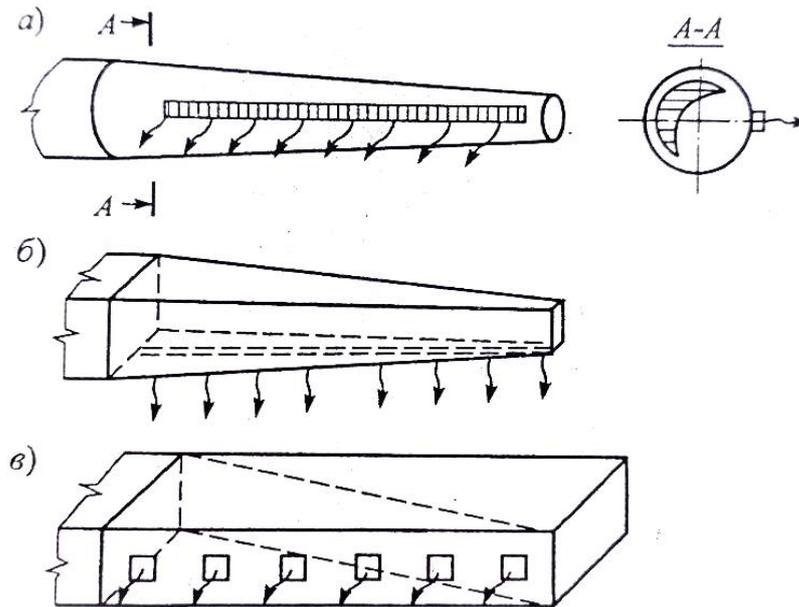


Рисунок 1. Воздуховоды постоянного статического давления с линейно-изменяющейся площадью поперечного сечения: а – конусообразный; б- клинообразный; в – прямоугольный с разделительной стенкой;

Условие обеспечения постоянства статического давления по длине воздуховода: разность динамических давлений в начале и в конце воздуховода должна быть равна полной потере давления.

Скорость в начале воздуховода  $V_{нач}$  больше в конце воздуховода,  $V_{кон}$ . Постоянство статического давления по всей длине магистрали обеспечивается соблюдением равенства:

$$\frac{v_{кон}^2}{2} \rho - \frac{v_{нач}^2}{2} \rho = \sum(Rl + z) \quad (1)$$

где  $\sum Rl$  – общая потеря на трение по длине подающей магистрали;  $\sum z$  – потеря в местных сопротивлениях всех тройников на проход по магистрали; тройники располагаются в месте пересечения оси отверстия с осью воздуховода.

Эти воздуховоды обеспечивают равномерную и по расходу, и по скорости истечения воздуха через боковые окна.

**Воздуховоды равномерной раздачи постоянного поперечного сечения.** Наиболее простым по устройству и удобным в изготовлении является воздуховод постоянного сечения с одинаковыми по размерам окошками и щелью постоянной ширины. Однако известно, что в воздуховодах такого типа истечение через окна и щель происходит неравномерно как по величине скорости, так и по направлению и вытекающих струек.

Схемы таких воздуховодов показаны на рис.2

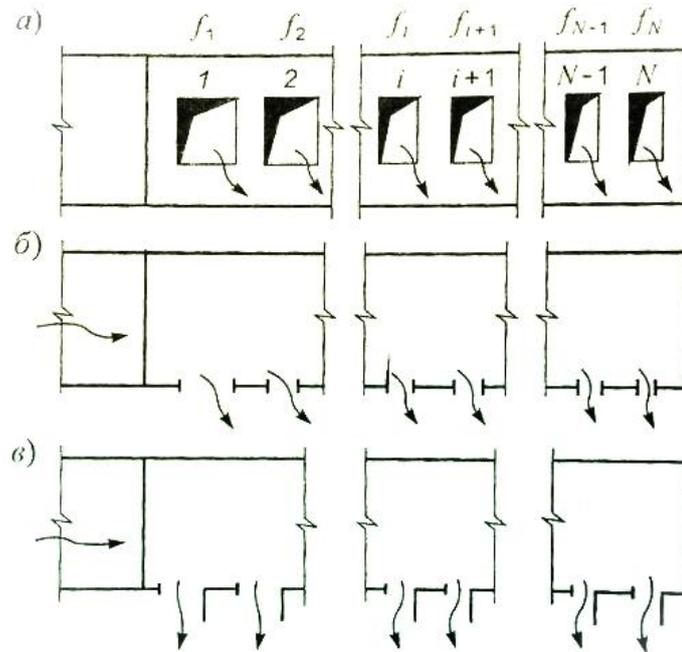


Рисунок 2. Воздуховод равномерной раздачи постоянного поперечного сечения с переменными по длине размерами отверстий  
 а – общий вид воздуховода: (1 – N) – номера отверстий, ( $f_1$ –  $f_N$ ) – площади отверстий, б – направление движения воздуха из отверстия с острыми кромками; в – направление движения воздуха при устройстве внешнего экрана

Степень неравномерности раздачи воздуха определяется соотношением суммарной площади окошек к площади поперечного сечения воздуховода  $F_{тр}$ . При отношении  $\sum f/F_{тр} = 0,3 \dots 0,35$  получается сравнительно равномерное истечение воздуха. При отношении  $\sum f/F_{тр} = 1,5$  наблюдается крайне неравномерное истечение воздуха.

Объясняется это диффузорным эффектом (уменьшением скорости при попутном расходе), вследствие которого статическое давление в воздуховоде увеличивается к глухому концу. Расход же воздуха через боковое окно в воздуховоде определяется величиной статического давления. На рис. 3 изображена схема истечения воздуха через боковое окно.

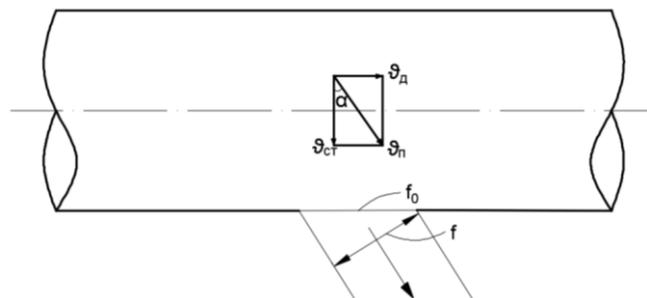


Рис. 3. Схема истечения воздуха через окно  
 Составляющая скорости истечения  $v_d$  определяется динамическим давлением в воздуховоде:

$$v_d = 1,28 \cdot \sqrt{P_{ск}} \quad (2)$$

Составляющая скорости истечения  $v_{ст}$  определяется величиной статического давления в воздуховоде в том его сечении, где размещено окно:

$$v_{ст} = 1,28 \cdot \sqrt{P_{ст}} \quad (3)$$

Полная скорость истечения определяется по формуле:

$$v_{п} = \sqrt{v_{д}^2 + v_{ст}^2} \quad (4)$$

Расход воздуха через окно можно определить по полной скорости или по ее составляющим:

$$L_0 = v_{п} \cdot f \cdot \mu, \quad f = f_0 \cdot \sin \alpha; \quad (5)$$

$$v_{п} = \frac{v_{ст}}{\sin \alpha}; \quad (6)$$

$$L_0 = \mu \cdot \frac{v_{ст}}{\sin \alpha} \cdot f_0 \cdot \sin \alpha = \mu \cdot v_{ст} \cdot f_0, \quad (7)$$

где  $v_{п}$  – полная скорость истечения, м/с;

$\mu$  – коэффициент расхода через окно;

$f_0$  – площадь окна, м<sup>2</sup>;

$f$  – площадь поперечного сечения струи на участке ее формирования, м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – угол истечения.

*Вследствие того, что величина статического давления к концу воздуховода увеличивается, расход воздуха через окна по мере удаления от вентилятора растет.*

Направление вытекающих струек обуславливается соотношением статического и динамического давлений в данном сечении воздуховода:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_{ст}}{v_{д}} = \sqrt{\frac{P_{ст}}{P_{ск}}}. \quad (8)$$

Так как динамическое давление по ходу движения уменьшается, а статического увеличивается, угол истечения струек увеличивается от окна к окну: в начале воздуховода струйки могут двигаться почти параллельно оси воздуховода, а в конце приобретают направление, перпендикулярное к оси воздуховода.

В результате взаимодействия струй между собой почти вся масса воздуха получает направление под некоторым углом  $\beta$  оси воздуховода в сторону его конца (рис. 4).

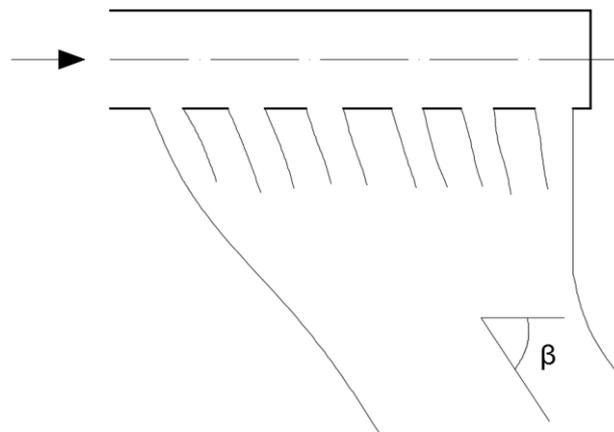


Рис. 4 Схема «сноса» потока

Это явление носит название «сноса» потока. Угол «сноса» определяется соотношением площадей окон и воздуховода.

$$\operatorname{ctg} \beta \approx \sum f / F. \quad (9)$$

Из-за «сноса» воздух не распространяется по помещению равномерно, а скорость потока затухает медленно. Для организации равномерной по расходу раздачи воздуха следует изменять площадь окошек (уменьшать по мере удаления от вентилятора). Для того, чтобы достигнуть равномерной раздачи по направлению и избежать «сноса», окошки снабжают щитками, направляющими лопатками и т.п.

**Третьим типом воздуховодов с боковыми окнами для равномерной раздачи** являются воздуховоды, в которых соотношение площади окошек к площади поперечного сечения воздуха вода  $\sum f / F_{mp} \leq 0,35$ . Такие воздуховоды обеспечивают сравнительно равномерное распределение воздуха. Пример такого воздуховода – канал в виде подшивного потолка с боковыми окнами.

Практически равномерная раздача воздуха по скорости истечения объясняется тем, что в канале скорость небольшая (около 1м/сек), и при истечении воздуха через окна она убывает незначительно, да и потери давления на преодоление сопротивления трения и местных сопротивлений невелики, то *статическое давление, которое определяет скорость истечения практически остается постоянным.*

## 2.Методика замеров и обработка результатов

**Методика выполнения замеров:** Так как при исследовании раздачи воздуха через боковые окна в воздуховоде требуется определить расход воздуха выходящего через каждое окно, то требуется измерить или определить среднее значение  $P_{ст.ср}$ . Для этого замеряют  $P_{ст}$  в нескольких точках (по высоте или по ширине воздуховода) в каждом замерном сечении и по дифманометру определить среднее из замеров  $P_{ст}$  (например,  $P_{ст}$  в сечении 1 а-а). Схема замерных сечений для воздуховода с шестью боковыми окнами представлена на рис 5.

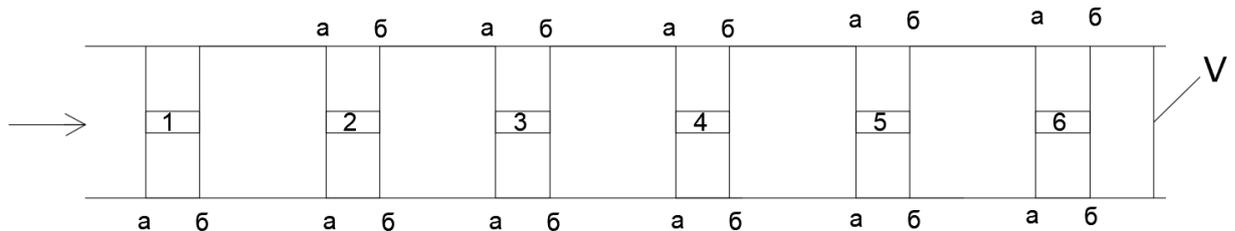


Рисунок 5 Схема замерных сечений

Следует учесть, что если при отборе статического давления напорной трубкой неудобно использовать кольцевое отверстие в ней, то можно использовать отверстие по центру носика трубки, но трубку отверстием этим направить не навстречу воздушному потоку, а в противоположную сторону.

Угол истечения воздуха из окна замеряется с помощью транспортира по отклонению от горизонтали шелковой нити укрепленной одним концом по центру окна. Результаты замеров оформляются таблицей 1

Таблица 1 Результаты замеров

Номер окна	Сечение	Значение статического давления, Па		Угол истечения $\alpha$ , град.
		Среднее по сечению, $P_{ст}$	Среднее для окна, $P_{ст.ср}$	
1	2	3	4	5
1	а-а			
	б-б			
2	а-а			
	б-б			
3	а-а			
	б-б			
И т.д				

**Обработка результатов измерений:** осуществляется в следующей последовательности

1. Определяются среднее значение статического давления для последовательности каждого окна:

$$P_{ст.ср} = \frac{P_{ст.а-а} + P_{ст.б-б}}{2}; \quad (10)$$

2. Строится эпюра статического давления вдоль воздуховода и схема изменения направления истечения из окон;

-рассчитываются статические составляющие скорости истечения в окнах по формуле (3)

$$v_{ст} = 1,28\sqrt{P_{ст}};$$

3. Рассчитываются расходы воздуха в окнах по формуле:

$$0L'_0 = \mu'_{ст} \cdot f_0 \cdot v_{ст}; \quad (11)$$

где  $\mu'_{ст}$ -коэффициент расхода воздуха, определяемый по таблице в зависимости от угла истечения и относительного расхода воздуха (под относительным расходом понимается отношение расхода воздуха через окно  $L_i$  к расходу в воздуховоде перед окном  $L_B$

$$\bar{L} = L_i / L_B \quad (12)$$

Таблица 2. Теоретическое значение  $\mu_{ст}$

Относительный расход $L_0/L$	Угол истечения, град.							
	15	20	25	30	35	40	45	50
0	0,1941	0,2513	0,3039	0,353	0,3953	0,4343	0,4689	0,4998
0,05	0,2923	0,3046	0,3351	0,3737	0,4147	0,4425	0,493	0,5156
0,01		0,4317	0,391	0,4126	0,4398	0,4618	0,4939	0,5156
0,2				0,5256	0,5041	0,5106	0,5243	0,5402
0,4						0,721	0,6241	0,662
0,6								0,7623

Окончание таблицы 2

Относительный расход $L_0/L$	Угол истечения, град.							
	55	60	65	70	75	80	85	90
0	0,5263	0,5501	0,5684	0,5838	0,5956	0,6085	0,6091	0,61
0,05	0,5331	0,5544	0,5688	0,5862	0,5956	0,6009	0,6091	0,61
0,01	0,5395	0,5595	0,5688	0,5862	0,5956	0,5976	0,6091	0,61
0,2	0,5533	0,5698	0,5845	0,5925	0,5985	0,6068	0,6092	0,61
0,4	0,591	0,591	0,5999	0,6028	0,6041	0,6068	0,6092	0,61
0,6	0,6724	0,641	0,6103	0,6183	0,6142	0,6079	0,6104	0,61
0,8	0,9914	0,7334	0,6797	0,642	0,6266	0,6116	0,6103	0,61
1,0			0,7862	0,6919	0,6434	0,6195	0,617	0,61

Так как фактические расходы в окнах пока неизвестны, коэффициент расхода определяется методом последовательного приближения, т.е первоначально определяется  $\mu'_{от}$  из предположения равномерной раздачи, принимая относительные расходы воздуха следующим образом:

$$\bar{L}_6 = 1, \quad \bar{L}_5 = 1/2, \quad \bar{L}_4 = 1/3, \quad \bar{L}_3 = 1/4, \quad \bar{L}_2 = 1/5, \\ \bar{L}_1 = 1/6$$

При этих величинах относительных расходов расходы воздуха получаются приближенными:

4. Уточняются значения коэффициентов расхода в окнах и значения в фактических расходов. Расчет сводится в таб. 3.

Таблица №3

Номер окна	$P_{ст}$ среднее для окна, Па	$v_{ст}$ , м/с	Предварительный расчет			Окончательный расчет		
			$\bar{L}'$	$\mu'_{ст}$	$L'$ , м <sup>3</sup> /с	$\bar{L}$	$\mu_{ст}$	$L_0$ , м <sup>3</sup> /с
1	2	3	4	5	6	7	8	9

### 3. Программа работы

#### 3.1 Задание

1. Изучить теоретические основы
2. Замерить среднее значение статического давления в поперечных сечениях воздуховода, проходящего через начальную и конечную кромку каждого окна, то есть в сечениях а-а и б-б для каждого отверстия(рис.4) Результаты занести в таб.1.
3. Определить направление воздушных потоков истекающих из каждого окна и установить «снос» общей струи истечения. Изобразить схему углов истечения и схему «сноса» струи.
4. Рассчитать фактические расходы воздуха через окна, таб.3. Построить график.
5. Рассчитать необходимые для равномерной раздачи размеры окон. Результаты занести в таб.4.

Таблица 4 Размеры окон для равномерной раздачи

Номер окна	$v_{ст}$ , м/с	Расходы через окно, $L_0$ , м <sup>3</sup> /с	Коэффициент расхода, $\mu_{ст}$	Площади окон, $f$ , м <sup>2</sup>	Длина окна, $l$ , м
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					
И т.д.					

Примечание 1. В графе 4 записываются значения из графы 6 табл.2

### 3.2 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- наименование работы;
- цель работы;
- задачи работы;
- схему замерных сечений экспериментального участка стенда;
- таблицу результатов замеров табл 1;
- расчетные формулы;
- таблицы результатов расчетов табл 3 и табл 4;
- под схемой воздуховода разместить графики (как показано ниже) и изобразить схему «сноса» струи.

Схема воздуховода



Схема изменения узлов истечения

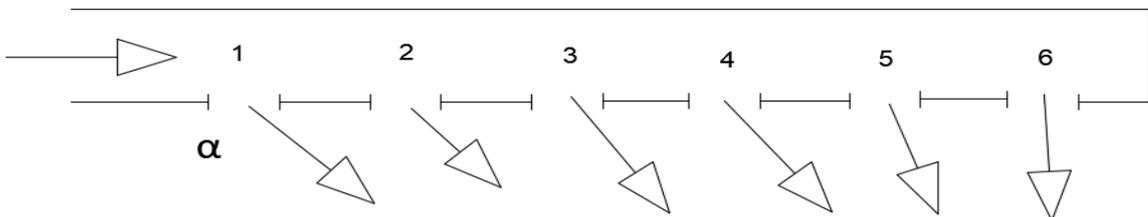


График статического давления в воздуховоде

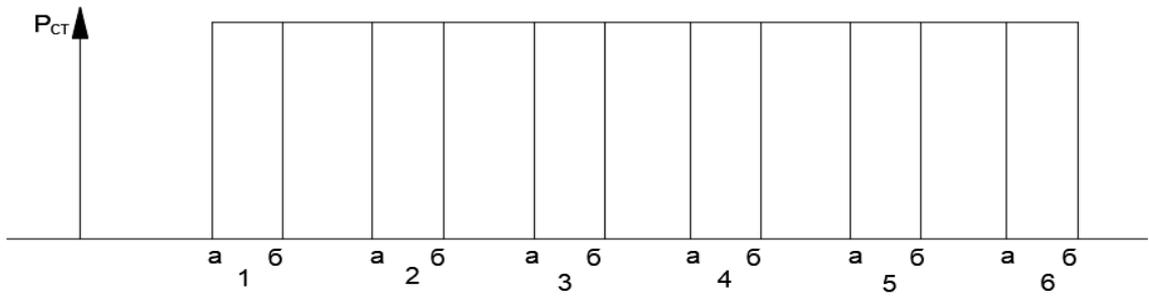


График изменения расхода воздуха в окнах

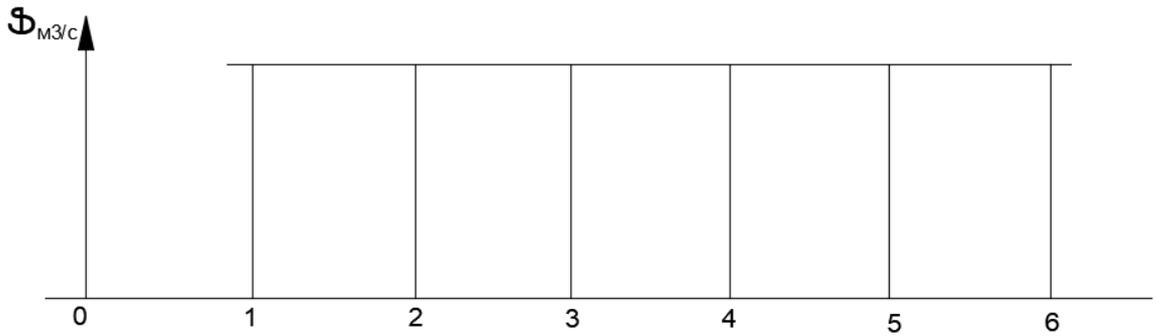
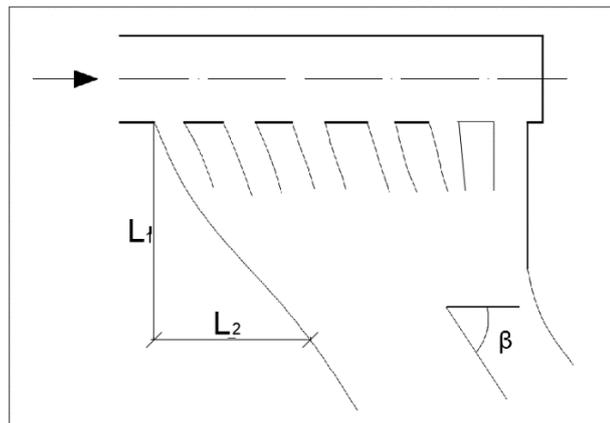


Схема «сноса» струи



Выводы:

---



---



---



---



---



---



---

Работу выполнил

(студент)

Работу принял

(преподаватель)

#### 4.Контрольные вопросы

1. Что такое равномерная раздача воздуха в помещение?
2. Какие виды равномерной раздачи известны?
3. Какие бывают виды конструктивного оформления воздуховода равномерной раздачи?
4. Какое обязательное условие для равномерности раздачи из окон воздуховода переменного поперечного сечения?
5. Как обеспечиваются равномерная раздача через боковые окна воздуховода постоянного поперечного сечения?
6. Какова последовательность отсчета размеров площадки для равномерной раздачи.
7. Какие есть способы обеспечения равномерности направления и сечения струек из окон?
8. Что такое «подставной потолок» при проектировании систем В и КВ, что такое фальш-потолок?

## Библиографический список литературы

### Основной

1. Каменев П.Н. Вентиляция: учебник для вузов / П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник. — М.: АСВ, 2008. — 616 с.: ил.— Библиогр. в конце кн.- ISBN 978-5-93093-436-6 (в пер.).
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: учебник для вузов / В.Н.Богословский. — 3-е изд. — СПб. : Авок Северо-Запад, 2006. — 400с. — (Инженерные системы зданий). — Библиогр. В конце кн. — ISBN 5-902146-10-0/в пер./: 180.00.
3. Ананьев В.А. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха. (учеб. пособие/Ананьев В.А., Балужева В.П., Мурашко В.П. – Новая ред. – М.: Евроклимат, 2008. – 504с. : ил. – (Библиотека климатехника). – ISBN 5-94836-171-0 /в пер./: 1275. 00.
4. Гримитлин А.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры в инженерном оборудовании зданий: учеб. пособие / Гримитлин А.М., Иванов О.П., Пухкал В.А. — СПб. : АВОК Северо-Запад, 2006. — 210с. : ил. + 1 опт. диск (CD ROM). — (Учебная библиотека АВОК Северо-Запад). — Библиогр. в конце кн.— ISBN 5-902146-09-0 /в пер./: 140.00

### Дополнительной

1. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности : учеб. пособие для вузов / Е.А. Штокман [и др.]; под ред. Е.А. Штокмана. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: АСВ, 2007.- 632с.:ил.— Библиогр. в начале кн.— ISBN 978-5-93093-522-6.
2. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование: учеб. пособие для вузов / Б.М. Хрусталева [и др.]; под. общ. ред. Б.М. Хрусталева. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: АСВ, 2008. — 784 с. : ил. — На обл. и корешке указ. Три авт. — Библиогр. в конце гл. — ISBN 978-5-93093-394-9 (в пер.) : 627, 00.
3. Полушкин В.И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Учеб. Пособие. Ч.1. Теоретические основы создания микроклимата в помещении / В.И. Полушкин, О.Н. Русак, С.И. Бурцев и др. — СПб.: Профессия, 2002. — 176с.: ил. — (Специалист). — Библиогр. В конце кн. — ISBN 5-93913-031-3 /в пер./ : 145.48.
4. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий: учеб. пособие для вузов / В.П. Титов [и др.]. — М.: Стройиздат, 1985. — 208 с. — 0,50.
5. Отопление и вентиляция: учебник для вузов по спец. "Теплогасоснабжение и вентиляция": в 2 ч. — М.: Стройиздат, 1975-1976. Ч.2: Вентиляция / В.Н.Богословский [и др.]; под ред. В.Н. Богословского. — 1976. — 439 с : рис. — Авт. указаны на обороте тит.

6. Богословский В.Н. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства: в 2 ч. Ч.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха/ В.Н.Богословский [и др.]; под ред. И.Г. Староверова. — 3-е изд. — М.: Стройиздат, 1978. — 509 с.: ил. — 4,10.

Периодические издания:

1 Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика / Ассоциация инженеров АВОК;

2 Энергосбережение : специализированный журнал .— М. : ООО ИИП "АВОК-ПРЕСС".

Интернет-ресурсы

Электронные библиотечные системы (ЭБС)

1. [http://library.tsu.tula.ru/ellibraries/all\\_news.htm](http://library.tsu.tula.ru/ellibraries/all_news.htm)

2. [www.abok.ru](http://www.abok.ru)

3. [www.RosTeplo.ru](http://www.RosTeplo.ru).

Методические указания к практическим занятиям

1. Зеленко Г.Н., Рожков В.Ф. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Вентиляция» « Вентиляция гражданского здания», Каф. СТС ТулГУ, 2012 г. (ресурс кафедры)

2. Ковалев Р.А.; Зеленко Г.Н.; Рожков В.Ф. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Вентиляция промышленных зданий» раздел «Исходные данные к расчету воздухообмена. Местная вытяжная и приточная вентиляция» - Тула, ТулГУ, 2013 – 52 с.

3. Ковалев Р.А.; Зеленко Г.Н. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Вентиляция промышленных зданий» раздел «Расчет воздухообмена промышленного здания» - Тула, ТулГУ, 2013 – 32 с.

5. Вентиляция жилых, общественных и административно-бытовых зданий : учебное пособие / Р. А. Ковалев, Г. Н. Зеленко, В. Ф. Рожков ; ТулГУ, Ин-т горного дела и стр-ва .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2016 .— 356 с. : ил. — Библиогр.: с. 228-229 .— ISBN 978-5-7679-3683-0

6. Расчет воздухообмена цехов машиностроительного производства : учебное пособие / Р. А. Ковалев, Г. Н. Зеленко, В. Ф. Рожков ; ТулГУ, Ин-т горного дела и стр-ва .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 217 с. : ил. — Библиогр.: с. 135-138 .— ISBN 978-5-7679-4153-7