



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

**Методические указания**  
для выполнения лабораторной работы  
«Приборы и методы измерения давления  
воздуха в воздуховодах при испытании  
вентиляционных систем»  
по дисциплине

**«Вентиляция»**

Авторы  
Глазунова Е. К.,  
Пирожникова А. П.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Содержатся методические указания по выполнению лабораторной работы, даны общие сведения о приборах, применяемых для измерения давлений, скоростей и расхода воздуха в воздуховодах, описан порядок работы с микроманометром.

Практикум предназначен для студентов очной, заочной форм обучения направления 08.03.01 Строительство

## Авторы

К.Т.Н., доцент кафедры  
«Теплогазоснабжение и вентиляция»

Глазунова Е.К.,  
ст. преподаватель кафедры  
«Теплогазоснабжение и вентиляция»

Пирожникова А. П.





## Оглавление

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Введение .....</b>                  | <b>4</b>  |
| <b>Общие положения .....</b>           | <b>4</b>  |
| <b>Порядок выполнения работы .....</b> | <b>15</b> |
| <b>Список литературы .....</b>         | <b>20</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

**Цель работы** – изучить принцип действия приборов, используемых для определения давления, скорости и расхода воздуха в воздуховодах (каналах) и освоить методику измерений этих параметров.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Все измерения при испытании вентиляционных систем следует проводить, руководствуясь утвержденными методиками [1,2].

В соответствии с [1], для измерения давления или разности давлений допускается использование манометров различных конструкций, соответствующих [3]. Для измерения давлений и скоростей движения воздуха в воздуховодах (каналах) должны быть выбраны прямые 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 [2].

Гидравлический диаметр определяется по формуле

$$D_h = \frac{4F}{\Pi}, \quad (1)$$

где  $F$ ,  $m^2$ , и  $\Pi$ ,  $m$ , соответственно, площадь и периметр сечения.

При отсутствии прямолинейных участков необходимой длины допускается располагать мерное сечение в месте, делящем выбранный для измерения участок в отношении 3:1 в

направлении движения воздуха.

Измерения давлений в воздуховодах следует выполнять по методике [2]. Полное  $P_n$ ,  $P_a$ , статическое  $P_{ст}$ ,  $P_a$ , и динамическое  $P_d$ ,  $P_a$ , давления в выбранном сечении воздуховода следует измерять с помощью комбинированного приемника давления – пневмометрической трубки, один конец которой вводится навстречу движущемуся потоку, другой – к измерительному устройству, например, микроманометру.

Значение полного  $P_n$ ,  $P_a$ , и статического  $P_{ст}$ ,  $P_a$ , давлений представляют собой соответствующие перепады полных и статических давлений потока с барометрическим давлением окружающей среды. Перепад считается положительным, если соответствующее значение превышает давление окружающей среды, в противном случае – отрицательным.

**Пневмометрическая трубка** служит для непосредственного восприятия давления воздуха и передачи его манометру. Существуют различные типы пневмометрических трубок: трубка Пито, трубка Прандтля, трубка ЦАГИ, НИИОГАЗа и др.

Пневмометрическая трубка МИОТ (рисунок 1) изготавливается из двух спаянных по длине трубок. Одна из них, имеющая полушаровую головку с отверстием посередине, предназначена для измерения полных давлений; другая, имеющая глухой скошенный с двух сторон конец, – для измерений статических давлений. На некотором расстоянии от конца в стенках второй трубки имеются четыре отверстия диаметром от 0,5 до 0,8 мм.

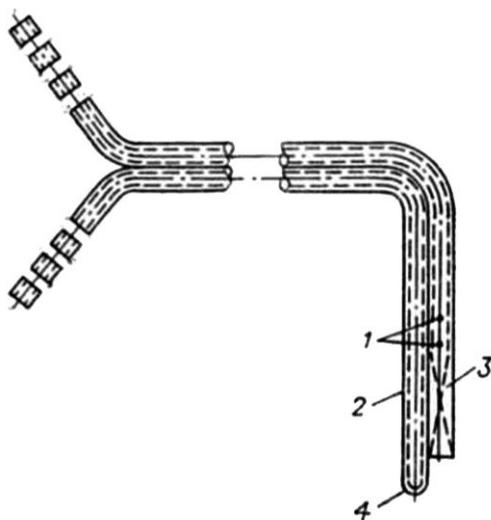


Рисунок 1 – Пневмометрическая трубка МИОТ

1 – боковые отверстия в трубке статического давления; 2 – трубка полного давления; 3 – трубка статического давления; 4 – отверстие в трубке полного давления

При измерении давления пневмометрическая трубка с помощью резиновых шлангов присоединяется к микроманометру. Короткая часть пневмометрической трубки вводится в воздуховод через лючок и помещается в потоке воздуха навстречу ему.

В качестве измерительных устройств, к которым присоединяется пневмометрическая трубка, могут служить манометры, тягомеры, разного вида микроманометры.

**Тягомер** состоит из резервуара с жидкостью и неподвижной стеклянной трубки со шкалой. Отсчет ведется по уровню жидкости в трубке.

Более высокая точность измерений тягомерами и микроманометрами по сравнению с U-образным манометром обеспечи-

## Вентиляция

вается наклонным положением трубки с жидкостью. Отсчет ведется по уровню жидкости в трубке с учетом угла наклона трубки.

У тягомера шкала неподвижна, что ограничивает пределы измерений. Этого недостатка нет у **микроманометра** – угол наклона трубки можно менять и фиксировать в определенных положениях, что позволяет измерять малые перепады давления и повышает точность измерений. Широко распространены микроманометр типа ММН (микроманометр многопредельный для измерения избыточного давления). Погрешность измерений не превышает  $\pm 1$  %. Микроманометр ММН можно применять для измерения давлений в пределах от 10 до 2000 Па. Угол наклона трубки прибора может измениться, трубка устанавливается в пяти положениях в зависимости от пределов измерения.

Микроманометр многопредельный с наклонной трубкой ММН-2400(5)-1 является жидкостным прибором. Он предназначен для измерения избыточного, вакууметрического давления и разности давлений неагрессивных к стали, латуни, олову и полиэтилену газов в пределах до  $240 \text{ кгс/м}^2$ , при статическом давлении не более  $1000 \text{ кгс/м}^2$ .

Применяется в качестве переносного лабораторного прибора при различных испытаниях или для проверки рабочих приборов.

Принцип действия прибора основан на том, что измеряемое давление газа (или разность давлений) уравнивается давлением столба рабочей жидкости, который образуется в наклонной трубке (к трубке подводится меньшее давление).

При этом условии уровень спирта в измерительной трубке будет повышаться, а в резервуаре – понижаться.

Вентиляция

Устройство микроманометра показано на рисунке 2. На плите 21 укреплен резервуар 22, герметически закрытый крышкой 16. На ней расположены: трехходовой кран 17, пробка 18, закрывающая отверстие для заливки, и регулятор нулевого положения мениска 19, служащий для установки мениска спирта в измерительной трубке против нулевой шкалы.

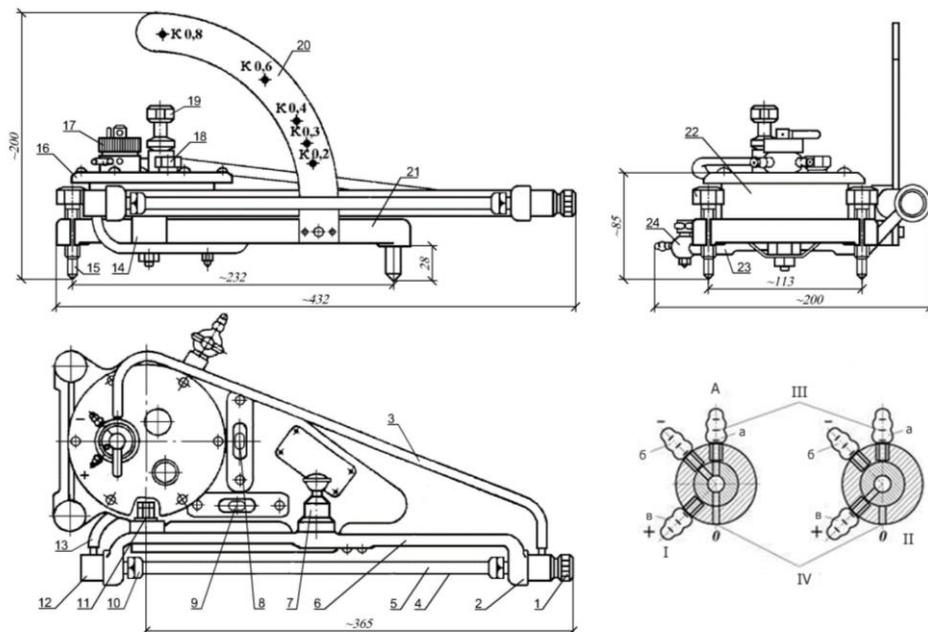


Рисунок 2 – Микроманометр многопредельный с наклонной трубкой

ММН-2400(5)-1:

А – схема включения трехходового крана; I – при контроле нуля, II – при замерах; III – к стеклянной трубке; IV – в атмосферу

К стойке 14 плиты 21 конусной осью крепится кронштейн 6 с колодками 12 и 1, которые соединены стеклянной измерительной трубкой 5, снабженной защитным кожухом 4. Концы из-

## Вентиляция

мерительной трубки 5 входят в отверстия колодок 12 и 1 и уплотнены в них сальниками с резиновыми уплотнительными кольцами 2 и зажимными штуцерами 10.

Левая колодка соединена резиновой трубкой 13 с резервуаром 22; правая колодка соединена резиновой трубкой 3 с трехходовым краном 17. Измерительная трубка 5 устанавливается так, что геометрическая ось вращения кронштейна 6 проходит через нуль шкалы.

Шкала, нанесенная на стеклянную измерительную трубку, имеет длину 300 мм; наименьшее деление шкалы 1 мм.

Для установки кронштейна с измерительной трубкой на требуемый угол наклона к плите 21 прикреплена дуга 20 с пятью отверстиями, соответствующими определенным значениям постоянной прибора  $K$ , величина которой обозначена на дуге против каждого отверстия.

Кронштейн 6 фиксируется на дуге 20 в необходимом положении с помощью фиксатора 7, который укреплен во втулке кронштейна.

Для установки микроманометра в горизонтальное положение, как при градуировке, так и при замерах на плите установлено два уровня 9 и 5 с цилиндрическими ампулами. Прибор приводится в горизонтальное положение двумя регулировочными ножками 15.

Прибор заполняют спиртом через отверстие в крышке с пробкой 18; выливают спирт через сливной кран 24, укрепленный на отводе 23.

Присоединяют прибор замера резиновыми трубками, надеваемыми на штуцеры трехходового крана 17.

## Вентиляция

Трехходовой кран имеет три штуцера, обозначенных буквами *а*, *б* и *в*, и отверстие *о* для сообщения с атмосферой.

Штуцер *а* используется для постоянного соединения крана со стеклянной измерительной трубкой.

При измерении избыточного давления резиновая трубка, идущая от места замера, надевается на штуцер *в*, а при измерении вакуумметрического давления – на штуцер *б*.

При измерении разности давлений плюсовая трубка надевается на штуцер *в*, а минусовая – на штуцер *б*.

Каналы в трехходовом кране расположены так, что при повороте его пробки против часовой стрелки до упора, резервуар и измерительная стеклянная трубка сообщаются с атмосферой, а отверстия к штуцерам *б* и *в* перекрываются; при этом положении трехходового крана контролируется «нуль».

При повороте пробки по часовой стрелке до упора, штуцер *в* сообщается с резервуаром, а штуцер *б* – со штуцером *а* и через него – со стеклянной измерительной трубкой; при этом положении трехходового крана производят замеры.

Схемы соединения микроманометра и пневмометрической трубки при измерении различных видов давления представлены на рисунке 3.

Вентиляция

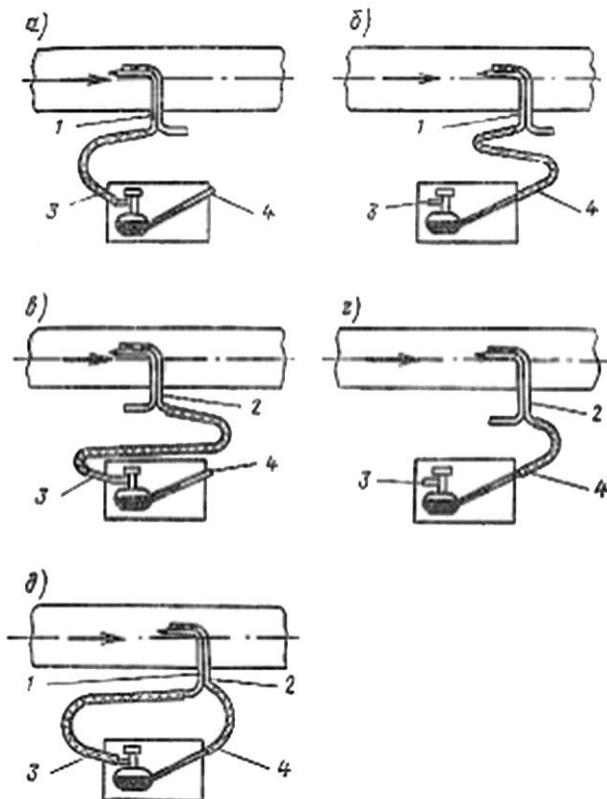


Рисунок 3 – Порядок соединения микроманометра и пневмометрической трубки при измерении различных давлений:

*а* – полное положительное давление (в нагнетательном воздухопроводе); *б* – полное отрицательное давление (во всасывающем воздухопроводе); *в* – положительное статическое давление (в нагнетательном воздухопроводе); *г* – отрицательное статическое давление (во всасывающем воздухопроводе); *д* – динамическое (скоростное) давление.

1 – трубка полного давления; 2 – трубка статического давления; 3 – штуцер резервуара микроманометра (положительный); 4 – шту-

цер микроманометра (отрицательный).

Более распространены для измерения параметров воздуха в настоящее время электронные приборы, которые обладают большей точностью измерений, а также простотой и удобством при эксплуатации. Например, **тягонапоромер-микроманометр автономный ЗОНД-10-ДГ-1031А**, предназначенный для измерения мановакуумметрического давления, а также разности двух давлений сухих неагрессивных газов. Может использоваться в качестве инструментального обеспечения действующих методик измерений по [2].

Применение данного устройства предусматривается в одном из трех диапазонов измерений давлений:  $\pm 200$  Па,  $\pm 2$  кПа,  $\pm 20$  кПа ( $\pm 20$  мм вод.ст.,  $\pm 200$  мм вод.ст.,  $\pm 2000$  мм вод.ст.).

В комплекте с напорными дифференциальными трубками Пито, ЗОНД-10-ДГ-1031А позволяет измерять объемный расход газа по скорости в одной точке поперечного сечения трубы, а также в комплекте с трубками напорными конструкции НИИОГАЗ, позволяет определять скорости и расход газопылевых потоков в газоходах и вентиляционных каналах.

Также тягонапоромер обеспечивает автоматическую установку нуля и измерение давления. Прибор также позволяет вводить и запоминать в энергонезависимой памяти параметры газа и газохода.

На рисунке 4 показан внешний вид ЗОНД-10-ДГ-1031А. На лицевой панели находится жидкокристаллический индикатор 5, кнопки переключения режимов измерения 7 и кнопки управления: включения и выключения 1, вызова меню настроек 2, начала измерения 3, выравнивания по нулю 4 и сброса показаний 8.

Вентиляция

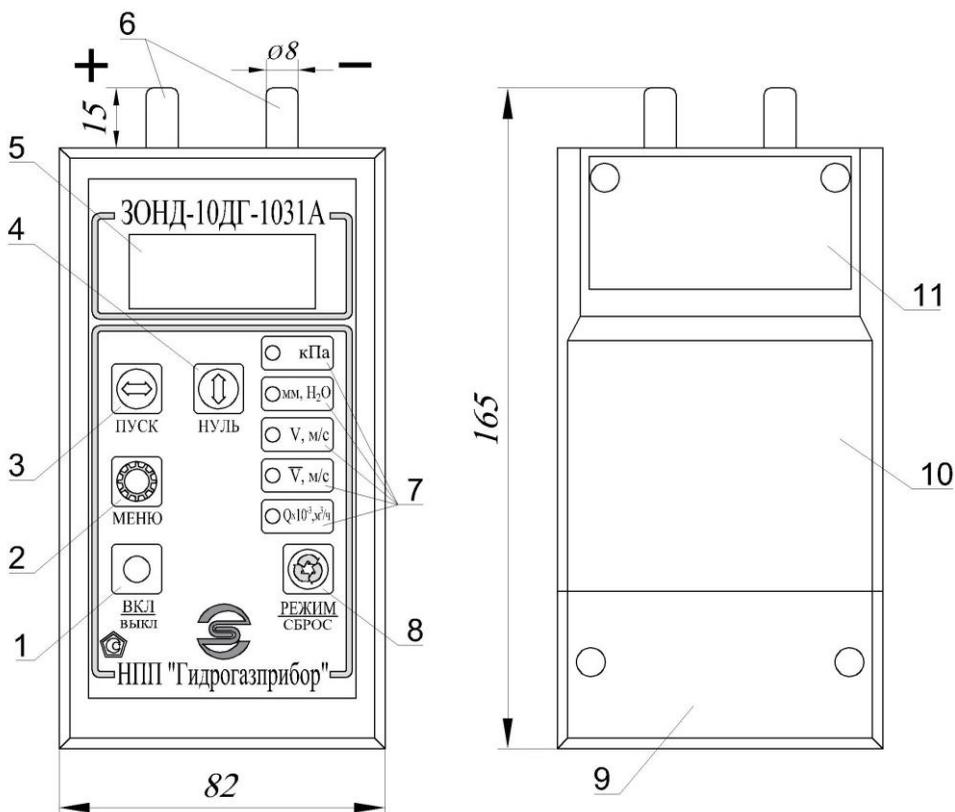


Рисунок 4 – Тягонапоромер-микроманометр автономный ЗОНД-10-ДГ-1031А

В верхней торцевой части тягонапоромера установлены два штуцера 6 для подвода газоздушных потоков. Штуцер (+) предназначен для измерения полного давления, штуцер (-) – для статического.

Потоки газа подводятся через гибкие шланги в рабочую камеру тензорезисторного моста 11, где давление от движущихся сред воспринимается чувствительными элементами и преобразуется ими в электрические импульсы. Сигнал рассогласования двух

## Вентиляция

импульсов в виде разности потенциалов пропорционален измеряемому давлению. Далее сигнал с тензорезисторного моста 11 оцифровывается, обрабатывается и отображается на жидкокристаллическом индикаторе 5.

На тыльной поверхности корпуса 10 тягонапоромера находится батарейный отсек 9 и доступ к тензорезисторному мосту 11.

Кроме узкоспециализированных приборов, существуют также устройства, предназначенные **для измерения комплекса параметров воздуха** при испытании вентиляционных систем. Например, прибор Testo-435 (Германия) различной комплектации, которая включает внутреннее оснащение самого прибора и набор зондов (рисунок 5).



Рисунок 5 – Прибор testo-435 с набором зондов

Зонды нужны для измерения параметров воздуха — температуры, влажности, скорости, давления, уровня  $\text{CO}_2$ . Комплект может включать сам прибор testo-435/4, многофункциональный зонд (измерение скорости воздуха, температуры и влажности), трубку Пито с силиконовыми шлангами, а также диск с программным обеспечением и кабелем для подключения к компьютеру.

Трубки Пито, используются для измерения статического, динамического и полного давлений. Прибор сам пересчитывает динамическое давление воздуха в скорость и, в зависимости от сечения воздуховода, в расход.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Работа выполняется на лабораторном стенде. Измерения проводятся с помощью микроманометра ММН-2400(5)-1 в комплекте с пневмометрической трубкой в сечении воздуховода, заданном преподавателем.

2. Подготовить микроманометр к работе, для чего:

- установить прибор на устойчивом столе, плите и т.п.;
- настроить регулировочными ножками положение прибора, чтобы в каждом уровне пузырек стоял в центре;
- установить кронштейн с измерительной трубкой в крайнее верхнее положение, соответствующее  $K=0,8$ ;
- повернуть пробку трехходового крана против часовой стрелки до упора;
- вывернуть из крышки пробку 18 и залить в резервуар этиловый спирт (с плотностью  $\gamma=0,8095+0,0005 \text{ г/см}^3$ ) в таком количестве, чтобы уровень его в стеклянной измерительной трубке уста-

## Вентиляция

новился приблизительно против нулевого деления шкалы, а затем поставить на место пробку 18, затянув ее до отказа; Чтобы лучше видеть мениск, этиловый спирт, заливаемый в микроманометр, рекомендуется подкрасить метиловым красным красителем «метилрот» (50 мг на 1 л спирта).

– надеть на штуцер *б* трехходового крана отрезок резиновой трубки и поставить пробку трехходового крана в рабочее положение, поворачивая ее по часовой стрелке до упора. Поднять подсосом уровень спирта в стеклянной измерительной трубке примерно до конца шкалы и убедиться в отсутствии воздушных пробок в столбике спирта. В случае обнаружения воздушных пробок выдуть их вместе со спиртом в резервуар;

– повернуть пробку трехходового крана против часовой стрелки до упора, поставить кронштейн с измерительной трубкой на необходимый наклон и регулятором уровня окончательно скорректировать нуль;

– соединить прибор с объектом измерения и проверить положение прибора по уровням; если прибор сбился – вновь настроить его регулировочными ножками;

– повернуть пробку трехходового крана по часовой стрелке до упора, после этого можно приступить к отсчетам;

– во время работы периодически контролировать нуль прибора, ставя трехходовой кран в положение контроля, а также следить за положением прибора по уровням.

3. Ввести пневмометрическую трубку в заданное преподавателем сечение навстречу потоку воздуха.

4. Присоединить с помощью резиновых шлангов пневмометрическую трубку к микроманометру по схеме на рисунке 3 в

зависимости от вида измеряемого давления.

5. Привести трехходовой кран в положение, при котором производят замеры, и зафиксировать отсчет по видимой длине столба спирта на шкале стеклянной измерительной трубки с точностью 1/4 деления шкалы.

6. Определить фактическое значение измеренного микроманометром ММН давления по формуле:

$$P = l \cdot n \cdot g \cdot K, \quad (2)$$

где  $l$  – отсчет по шкале, мм;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$K$  – постоянная прибора, нанесенная на дугообразной стойке, на которой фиксируется положение стеклянной трубки;

$n$  – поправка, вводимая при использовании спирта с плотностью, отличающейся от  $\gamma = 0,8095 \pm 0,0005 \text{ г/см}^3$ ; значение поправки приводится в паспорте прибора.

7. Проверку измерений проводят по формуле

$$P_{\text{п}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{д}}, \quad (3)$$

8. Измерение считается достоверным при выполнении равенства (3).

9. Для определения расхода воздуха, проходящего через данное сечение следует замерить  $P_{\text{д}}$ , Па, в нескольких точках в зависимости от диаметра воздуховода. Количество точек замера принять по рисунку 6 [2].

10. Динамическое давление  $P_{\text{д.ср}}$ , Па, средней скорости

движения воздуха определяют по измеренным в точках величинам динамических давлений  $P_{di}$  по формуле:

$$P_{д.ср.} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n P_{di}^{0,5}}{n} \right)^2, \quad (4)$$

где  $P_{di}$  – динамическое давление, измеренное в точке, Па;

$n$  – количество точек измерения.

11. Определить среднюю скорость воздуха в воздуховоде  $v_{ср.}$ , м/с, по формуле:

$$V_{ср.} = \sqrt{\frac{2P_{д.ср.}}{\rho}}, \quad (5)$$

где  $\rho = \frac{353}{t+273}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$t$  – температура воздуха, °С.

Вентиляция

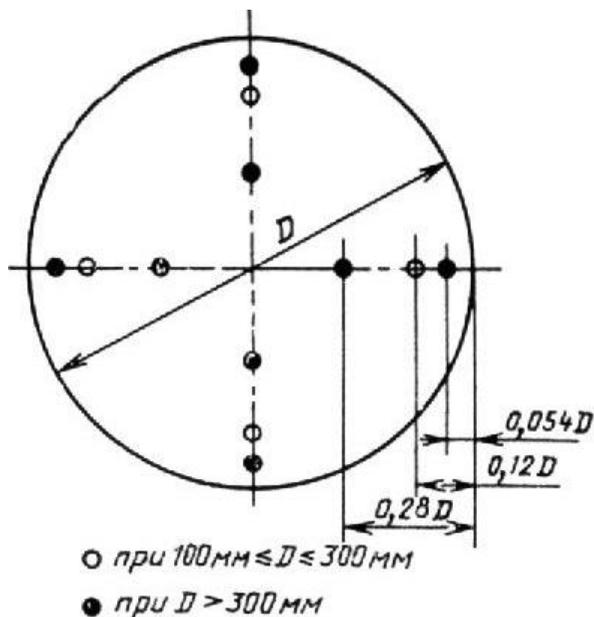


Рисунок 6 - Координаты точек измерения давлений и скоростей

12. Расход воздуха  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$  определить по формуле

$$L = 3600 \cdot V_{\text{ср}} \cdot F \quad (6)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения воздуховода,  $\text{м}^2$

13. Результаты замеров давлений, расчета скорости и расхода воздуха в воздуховоде свести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты замеров давлений, расчета скорости и расхода воздуха в воздуховоде

| № опыта | Статическое давление, $P_{\text{ст.}}$ , Па | Динамическое давление осевое $P_{\text{д.}}$ , Па | Полное давление $P_{\text{п.}}$ , Па | Динамическое давление $P_{\text{д.}}$ , Па в отдельных точках | Среднее динамическое давление $P_{\text{д.}}$ , Па | Скорость воздуха $V_{\text{ср.}}$ , м/с | Расход воздуха $L$ , $\text{м}^3/\text{ч}$ |
|---------|---|---|--------------------------------------|---|--|---|--|
|         |   |   |                                      |   |  |   |  |

## Вентиляция

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
|   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ 34060-2017. Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Испытание и наладка систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Правила проведения и контроль выполнения работ. Введ. 2018-02-01. – М.: Стандартинформ, 2018. – 36 с.

2. ГОСТ 12.3.018-79. ССБТ. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний. Введ. 1981-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 11 с.

3. ГОСТ 2405-88. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напорометры, тягомеры и тягонапорометры. Общие технические условия. Введ. 1989-07-01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 30 с.