

## **2.4. Лабораторная работа №4. Исследование характеристик трубопровода: определение потерь напора по длине, коэффициентов сопротивления и трения**

Целью данной работы является изучение способа экспериментального определения характеристик трубопроводов различного поперечного сечения и материалов, определение зависимости коэффициента сопротивления трубопровода в зависимости от числа Рейнольдса.

### Часть 1. Исследование характеристики трубопровода круглого сечения.

1. В данной работе необходимо использовать график изменения подачи вентилятора в зависимости от давления на выходе вентилятора при различных фиксированных частотах его вращения

2. Полностью закрыть все заслонки на стенде. Открыть заслонку 12. Вынуть из стеклянного трубопровода диффузор 31. Сопротивление трубопровода в этом случае минимально.

3. Включить автомат питания, поз. 34. Включить тумблер питания системы управления. Включить выключатель 46. Повернуть рукоятку 47 по часовой стрелке полностью. Вентилятор разгонится до максимальных оборотов. Прибор 38 будет показывать частоту вращения вала вентилятора  $n$ , об/мин; приборы 43, 50, 51 – температуру потока воздуха в соответствии с датчиками температуры. Данный режим работы будет соответствовать максимальной подаче вентилятора в данный трубопровод.

4. Подключить гибкие трубки к выходам статического давления трубок Пито: гибкую трубку от выхода статического давления трубки Пито №1 к входу «+» датчика перепада давления №1; гибкую трубку от выхода статического давления трубки Пито №2 к входу «-» датчика перепада давления №1. Вход «+» датчика перепада давления №2 подключить к выходу статического давления трубки Пито №1. Второй вход «-» датчика перепада давления №2 подключить к точке отбора давления на фильтре: правый, ближний к вентилятору, штуцер.

5. Выполнить измерения давлений и записать результаты в таблицу 4.1.

6. Потери давления в трубопроводе определяются как разность статических давлений в сечениях 1 и 2 трубопровода. Датчик перепада давления №1 показывает разность давлений, т.е. потери давления на трубопроводе:

$$\Delta p_{1,2} = p_{ст.1} - p_{ст.2}.$$

Потери давления в трубопроводе зависят от скорости течения потока, коэффициента трения, диаметра и длины трубопровода:

$$\Delta p_{1,2} = \zeta \times \rho \times \frac{v_{ср.}^2}{2}, \text{ где } \rho - \text{плотность воздуха в потоке; } v_{ср.} - \text{средняя}$$

скорость потока;  $\zeta$  – коэффициент сопротивления трубопровода;

Коэффициент сопротивления в свою очередь зависит от диаметра, длины и коэффициента трения трубопровода. С учетом взаимосвязи указанных параметров:

$$\zeta = \lambda \times \frac{L}{d}, \text{ где}$$

$\lambda$  – коэффициент трения;  $d$  – диаметр трубопровода ( $d=100\text{мм}$ );  $L$  – длина трубопровода ( $L=1500\text{ мм}$ ).

Средняя скорость потока вычисляется с использованием значений расхода воздуха, получаемого по графику зависимости подачи вентилятора в функции полного давления вентилятора и частоты вращения (график должен быть получен в работе №.3):

$$v_{ср.} = \frac{4 \times Q_{\Sigma}}{\pi \times d^2}$$

Вычислить значение средней скорости  $v_{ср}$  потока воздуха для трубопровода. Вычислить значение числа Рейнольдса ( $Re$ ) для потока:

$$Re = \frac{v_{ср.} \times d \times \rho}{\mu_d}, \text{ где } \mu_d - \text{динамическая вязкость воздуха: } \mu_d = 0,0182$$

$\times 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

7. Повторите эксперименты для всех частот вращения вентилятора в соответствии с данными таблицы 4.1.

Таблица 4.1.

Номер опыта	1	2	3	4	5	6
Обороты вентилятора, $n$ , об/мин	предельная характеристика: $n=2500 \dots 2700$	2300	2000	1500	1000	600
Потери давления на трубопроводе, $\Delta p_{1,2}$ , Па						
Полное давление вентилятора, Па, $p_{\text{вент.}}$						
Расход потока воздуха $Q_{\Sigma}$ , $\text{м}^3/\text{с}$ .						
Средняя скорость потока $\text{м/с}$ : $v_{\text{ср.}}$						
Значение числа Рейнольдса						
Значение коэффициента сопротивления $\zeta$						
Значение коэффициента трения $\lambda$						

Постройте графики следующих зависимостей:

- величина потерь давления в трубопроводе в функции величины расхода через него;
- коэффициента сопротивления в функции числа Рейнольдса;
- коэффициента трения в функции числа Рейнольдса.



## Часть 2. Исследование характеристики трубопровода гофрированного типа.

Лабораторная работа с трубопроводом гофрированного типа выполняется идентично выполнению лабораторной работы в части 1.

Диаметр трубопровода 100 мм. Длина исследуемого участка 1500 мм.

Отличие заключается в точках измерения статического давления на входе в трубопровод и на выходе из него. Для измерения давления используются точки отбора статического давления 20 и 26 соответственно первая и вторая. Первый датчик перепада давления подключается соответственно к указанным точкам аналогично предыдущему случаю.

## Часть 3. Исследование характеристики трубопровода прямоугольного сечения.

Лабораторная работа с трубопроводом прямоугольного сечения выполняется идентично выполнению лабораторной работы в части 1.

Отличие заключается в точках измерения статического давления на входе в трубопровод и на выходе из него. Для измерения давления используются точки отбора статического давления 21 и 25 соответственно первая и вторая. Первый датчик перепада давления подключается соответственно к указанным точкам аналогично предыдущему случаю.

Еще одно отличие в выполнении лабораторной работы заключается в расчетных зависимостях.

Средняя скорость потока вычисляется с использованием значений расхода воздуха, получаемого по графику зависимости подачи вентилятора в функции полного давления вентилятора и частоты вращения (график должен быть получен в работе №.3):

$$v_{\text{ср.}} = \frac{Q_{\Sigma}}{a \times b},$$
 где  $a$  и  $b$  – размеры поперечного сечения трубопровода ( $a=60$  мм,  $b=120$  мм).

Коэффициент сопротивления в свою очередь вычисляется с использованием эквивалентного диаметра  $d_{\text{э}}$ , длины и коэффициента трения трубопровода. С учетом взаимосвязи указанных параметров:

$$\zeta = \lambda \times \frac{L}{d_3}, \text{ где}$$

$\lambda$  – коэффициент трения;  $L$  – длина трубопровода ( $L=1500$  мм);  $d_3$  – эквивалентный диаметр трубопровода:

$$d_3 = \frac{2 \times a \times b}{a + b}.$$

Вычислить значение средней скорости  $v_{\text{ср}}$  потока воздуха для трубопровода.

Вычислить значение числа Рейнольдса ( $Re$ ) для потока:

$$Re = \frac{v_{\text{ср.}} \times d_3 \times \rho}{\mu_d}, \text{ где } \mu_d \text{ – динамическая вязкость воздуха: } \mu_d = 0,0182 \times 10^{-3}$$

Па•с.

Сравните потери давления в различных трубопроводах между собой.  
Сделайте выводы.

## Содержание

1 Общие сведения об изделии .....	3
2 Лабораторные работы .....	10
2.1 Лабораторная работа №1. Изучение приборов и методов определения давления .....	11
2.2. Лабораторная работа №2. Исследование эпюр распределения скоростей (по величине динамического давления) при течении воздуха по трубопроводу круглого сечения с помощью трубки Пито. Определение расхода по эпюре скорости .....	12
2.3. Лабораторная работа №3. Изучение характеристик вентилятора .....	17
2.4. Лабораторная работа №4. Исследование характеристик трубопровода: определение потерь напора по длине, коэффициентов сопротивления и трения .....	29
2.5. Лабораторная работа №5. Исследование характеристик регулируемой заслонки: определение потерь давления и коэффициентов сопротивления .....	34
2.6 Лабораторная работа №6. Исследование характеристик тройника .....	37
2.7. Лабораторная работа №7. Исследование характеристик диффузора ....	40
2.8. Лабораторная работа №8. Исследование характеристик сети при последовательном соединении трубопроводов .....	44
2.9. Лабораторная работа №9. Исследование характеристик нагревателя .....	46

ООО Научно-производственное предприятие  
"Учебная техника - Профи"

ОКП 96 6719

Стенд учебный ВЕНТ-08-7ЛР-01  
(ВЕНТ-08-5ЛР-01)  
«Вентиляционные системы»  
Описание лабораторных работ  
ВЕНТ -08-01.000.000 ПЗ



## 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ

1.1 Стенд учебный ВЕНТ-08-7ЛР-01 «Вентиляционные системы» предназначен для проведения лабораторных работ по изучению элементов систем вентиляции, способов регулирования и контроля параметров в вентиляционных системах, определению сопротивления элементов вентиляционных систем: труб различной формы, заслонок, тройников и т.д. Одновременно работы проводятся с группой из 2...3 обучаемых человека.

Лабораторные работы проводятся в соответствии с данными методическими материалами и руководством по эксплуатации ВЕНТ -08-01.000.000 РЭ

1.2 Стенд позволяет задавать и определять температуру, давление и расход воздуха, протекающего по трубопроводам, установленным на стенде.

Подогрев воздуха осуществляется канальным электрическим нагревателем и измеряется с помощью термоэлектрического преобразователя с вторичными прибором – индикатором.

Давление измеряется с помощью дифференциальных датчиков давления с цифровой индикацией показаний.

Расход воздуха измеряется по скоростному напору, измеряемому с помощью трубок Пито и дифференциальных датчиков давления.

### 1.3 Основные технические характеристики

Напряжение питания, В	220
Частота питающей сети, Гц	50
Потребляемая мощность, не более, кВт	2,0
Подача вентилятора (расход) при давлении на выходе 100 Па, м <sup>3</sup> /с, не менее	0,25
Максимальное давление на выходе запертого вентилятора, Па, не менее	500
Габаритные размеры, не более, мм	
Длина	2800
Ширина	620
Высота	1750
Масса, не более, кг	70



1.4.1 Конструкция стенда представлена на рис.1–5.

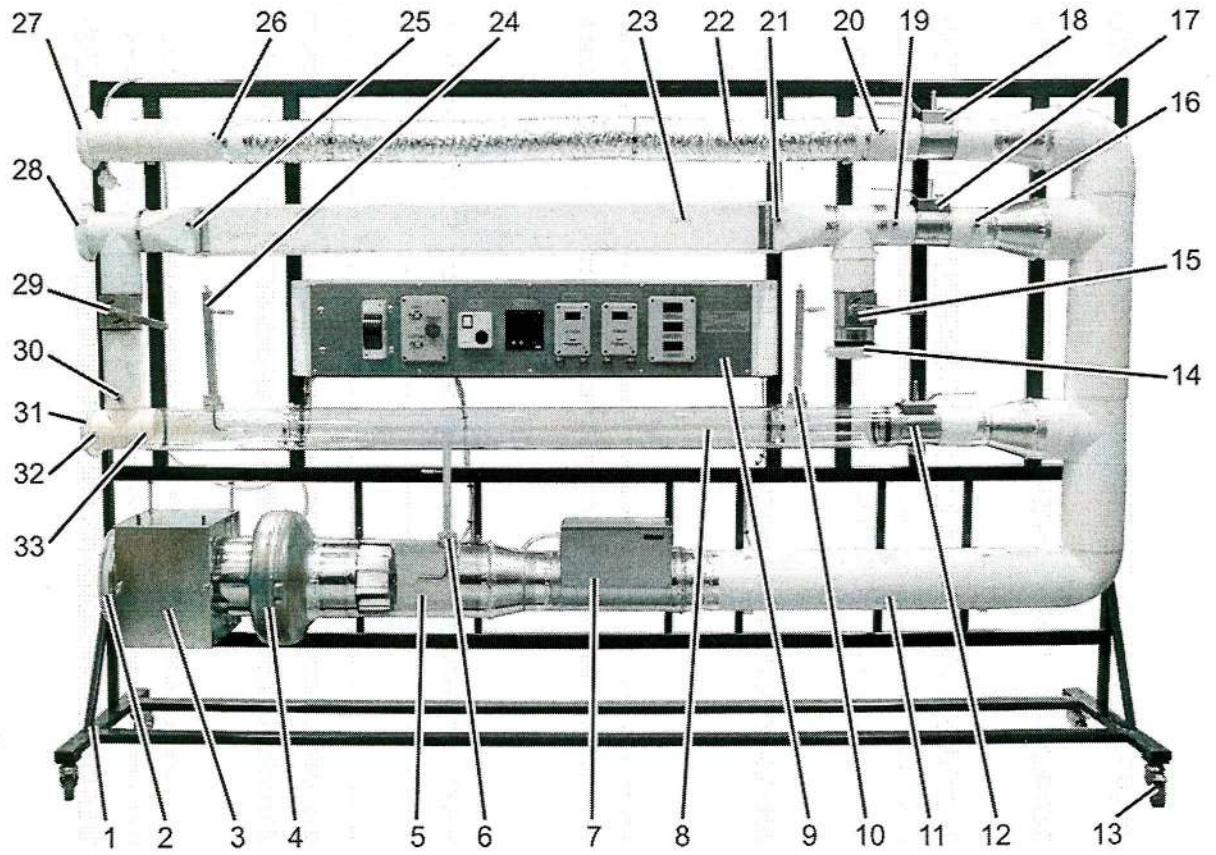


Рисунок 1. Стенд. Вид спереди

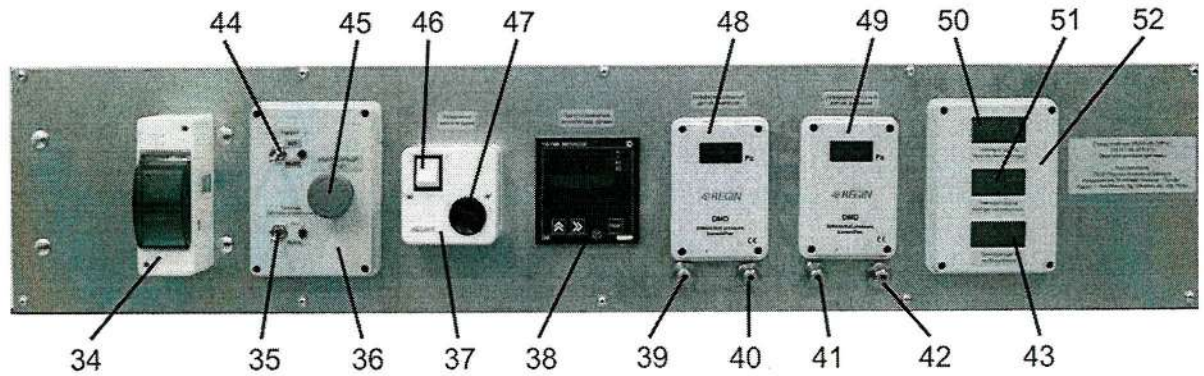


Рисунок 2. Панель управления

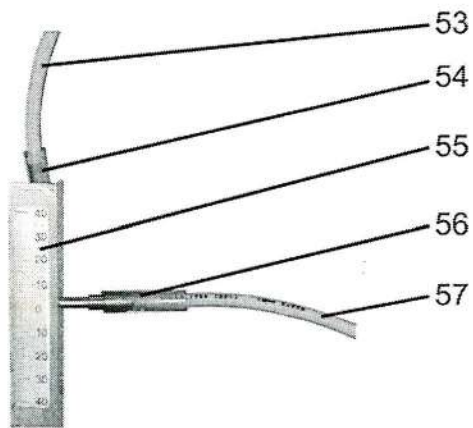


Рисунок 3. Вид на кронштейн трубки Пито

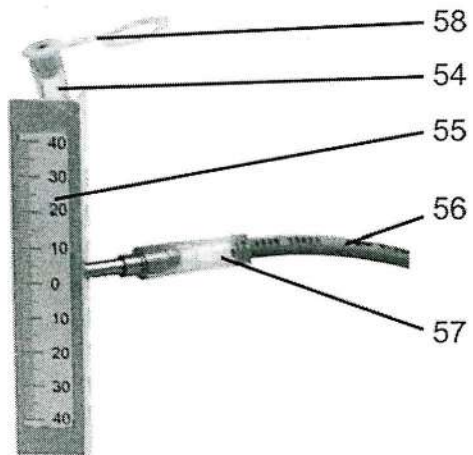


Рисунок 4. Вид на кронштейн трубки Пито.

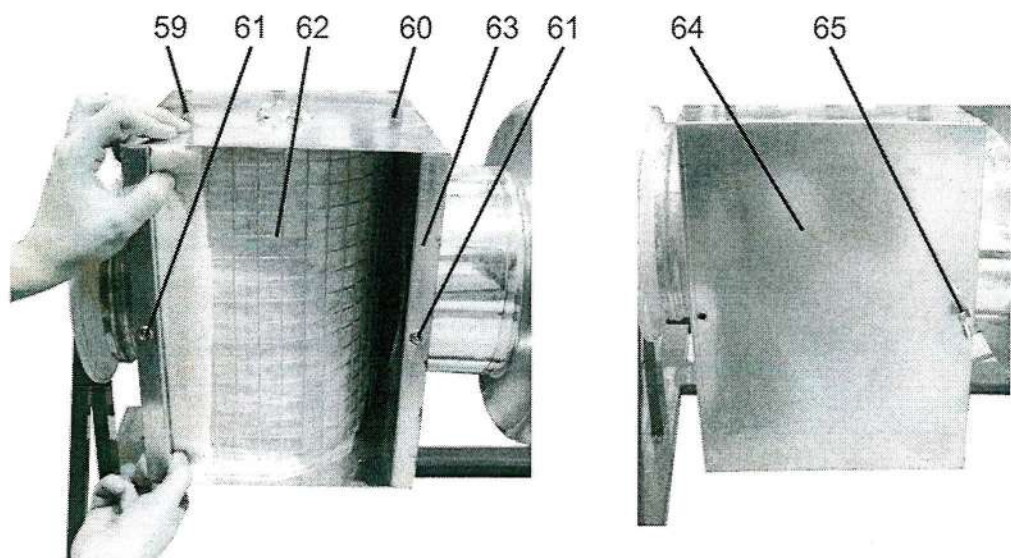


Рисунок 5. Устройство фильтра



Стенд учебный ВЕНТ-08-7ЛР-01 «Вентиляционные системы» включает в себя (рисунки 1–5):

- несущую раму 1;
- решетку 2, установленную в линии всасывания воздуха
- воздушный фильтр 3;
- вентилятор 4;
- участок 5 стабилизации потока воздуха, выходящего из вентилятора;
- трубку Пито 6 (№1) для измерения параметров потока на выходе вентилятора;
- каналный электрический нагреватель 7;
- канал 8, выполненный из прозрачной цилиндрической трубы, для измерения профиля скорости по сечению канала;
- панель управления 9;
- трубку Пито 10 (№2) на входе в канал 8;
- систему питающих каналов 11;
- заслонку 12 на входе в канал 8;
- колеса 13, позволяющие перемещать стенд по ровному полу;
- регулируемый диффузор 14;
- заслонку 15;
- точку отбора давления 16 перед заслонкой 17;
- заслонку 17 для направления воздушного потока в канал прямоугольного сечения;
- заслонку 18 для направления воздушного потока в канал 22, выполненный из гофрированного шланга;
- точку отбора давления 19 за заслонкой 17;
- точку отбора давления 20 на входе в канал 22;
- точку отбора давления 21 на входе в канал 23;
- канал 22, выполненный из гофрированного шланга;
- канал 23, выполненный из трубы прямоугольного сечения;
- трубку Пито 24 (№3) на выходе из канала 8;
- точку отбора давления 25 на выходе из канала 23;
- точку отбора давления 26 на выходе из канала 22;
- регулируемый диффузор 27;
- регулируемый диффузор 28;
- заслонку 29 для соединения каналов 8 и 23;



– точки отбора давления 30, 32, 33 на тройнике, соединяющем каналы 8, 23 и атмосферу;

– регулируемый диффузор 31;

На панели управления 9 установлены:

– автоматический выключатель 34 для защиты питающей электросети;

– тумблер 35 для включения питания системы управления стендом;

– коробка 36 со смонтированными на ней переключателями;

– блок 37 управления вентилятором;

– счетчик 38 импульсов (ОВЕН СИ-8) индицирующего скорость вращения вентилятора;

– точка 39 подвода давления в линию «Плюс» датчика давления 48.

– точка 40 подвода давления в линию «Минус» датчика давления 48.

– точка 41 подвода давления в линию «Плюс» датчика давления 49.

– точка 42 подвода давления в линию «Минус» датчика давления 49.

– индикатор 43 температуры в трубопроводе за электронагревателем;

– тумблер 44 для включения канального электронагревателя.

– кнопка 45 «Аварийный стоп», отключающей питание всех устройств стенда;

– переключатель 46, включающий вентилятор;

– регулятор 47, управляющий оборотами вентилятора;

– датчик перепада давления 48 (№1) типа DMD, настроенного на диапазон измерения 0..500 Па;

– датчик давления 49 (№2) типа DMD, настроенного на диапазон измерения 0...1000 Па;

– индикатор 50 температуры воздуха на выходе вентилятора;

– индикатор 51 температуры воздуха в электронагревателе;

– блок 52 индикаторов температуры воздуха;

Подсоединение трубки Пито:

– гибкий шланг 53 для подсоединения выхода «Полное давление» трубки Пито к входу 39 или 41 датчиков DMD;

– прозрачная трубка 54 для подсоединения шланга 53;

– шкала 55 для определения смещения трубки Пито от центра канала;

– прозрачная трубка 56 для подсоединения шланга 57;

– гибкий шланг 53 для подсоединения выхода «Статическое давление» трубки Пито к входу 40 или 42 датчиков DMD при измерениях совместно с

полным давлением, либо к входам 39 и 41 при измерении только статического давления;

- заглушка 58 для герметизации неиспользуемого выхода трубки Пито.

Конструкция фильтра:

- точка отбора давления 59 для измерения давления перед фильтроэлементом;
- точка отбора давления 60 для измерения давления за фильтроэлементом;
- резьбовое отверстие 61 для крепления крышки фильтра;
- фильтроэлемент 62;
- корпус фильтра 63;
- крышка фильтра 64;
- винты 65 для крепления крышки фильтра 64 к корпусу 63.

1.4.2 Подключение стенда к сети и подготовка к работе.

1.4.2.1 Используемая сеть должна иметь заземляющий провод. Заземление осуществляется через вилку сетевого шнура. Включить вилку стенда в розетку однофазной сети.

1.4.2.2. Открыть все заслонки стенда.

1.4.2.3. Включить тумблер «Питание системы управления». Включить выключатель на блоке управления вентилятором. Поворотом ручки вентилятора установить требуемую частоту вращения вала вентилятора. Контроль оборотов вентилятора осуществляется по прибору СИ-8.

Прибор запрограммирован для пересчета частоты вращения вентилятора в об/мин. За один оборот вентилятора на вход прибора поступает 2 импульса.

1.4.2.4. Управление системой нагрева.

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ВКЛЮЧАТЬ СИСТЕМУ НАГРЕВА ПРИ ВЫКЛЮЧЕННОМ ВЕНТИЛЯТОРЕ ИЛИ ПРИ РАБОТЕ ВЕНТИЛЯТОРА В РЕЖИМЕ МИНИМАЛЬНЫХ ОБОРОТОВ (МЕНЬШЕ 500 об/мин).**

Для включения нагрева перевести тумблер 44 для включения канального электронагревателя в положение «ВКЛ». Система нагрева имеет три степени защиты. При работе системы нагрева датчик температуры, установленные в канале за нагревателем выключают нагрев при достижении температуры 50°C. В нагревателе имеется биметаллический выключатель,



отключающий нагреватель при температуре 55°C, и защитный аварийный выключатель против воспламенения, срабатывающий при 120°C. Первые два выключателя при остывании нагревателя или потока воздуха автоматически переводят нагреватель в режим нагрева. При срабатывании защитный аварийного выключателя против воспламенения, необходимо после остывания открыть нагреватель и перевести его в рабочее состояние принудительно.

Срабатывание защитных систем значительно снижает ресурс работы стенда.

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ДОВОДИТЬ ТЕМПЕРАТУРУ ВОЗДУХА В СИСТЕМЕ ИЛИ НАГРЕВАТЕЛЬ ДО ТЕМПЕРАТУР СРАБАТЫВАНИЯ СИСТЕМ ОТКЛЮЧЕНИЯ.**

1.4.2.5. Измерение давления. Для измерения перепада давления в двух точках необходимо подключить гибкими трубками соответствующие точки к датчикам DMD. Для измерения избыточного давления (по отношению к атмосферному) необходимо подключить к датчику только одну точку, в которой необходимо измерить давление.

Точки отбора давления (кроме трубок Пито) снабжены штуцерами с быстросъемными соединениями. Внутри быстросъемного соединения (штуцера) имеется уплотнительное резиновое кольцо и автоматически закрывающий обратный клапан. Для измерения необходимо гибкую трубку вставить в штуцер и продвинуть ее до открытия клапана.

В связи с наличием уплотнения при установке трубки необходимо преодолеть некоторое (незначительное) усилие.

Для извлечения трубки из штуцера необходимо нажать на синее пластиковое кольцо штуцера в направлении к корпусу штуцера и одновременно вытягивать трубочку из соединения. При нажатии на кольцо разжимается цанговый зажим, удерживающий трубку, и трубка может быть извлечена из штуцера.

**ЗАПРЕЩЕНО ПОДАВАТЬ ДАВЛЕНИЕ В ШТУЦЕРА ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ, КАКИМ-ЛИБО СПОСОБОМ, КРОМЕ ОПИСАННЫХ В РУКОВОДСТВЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ.**



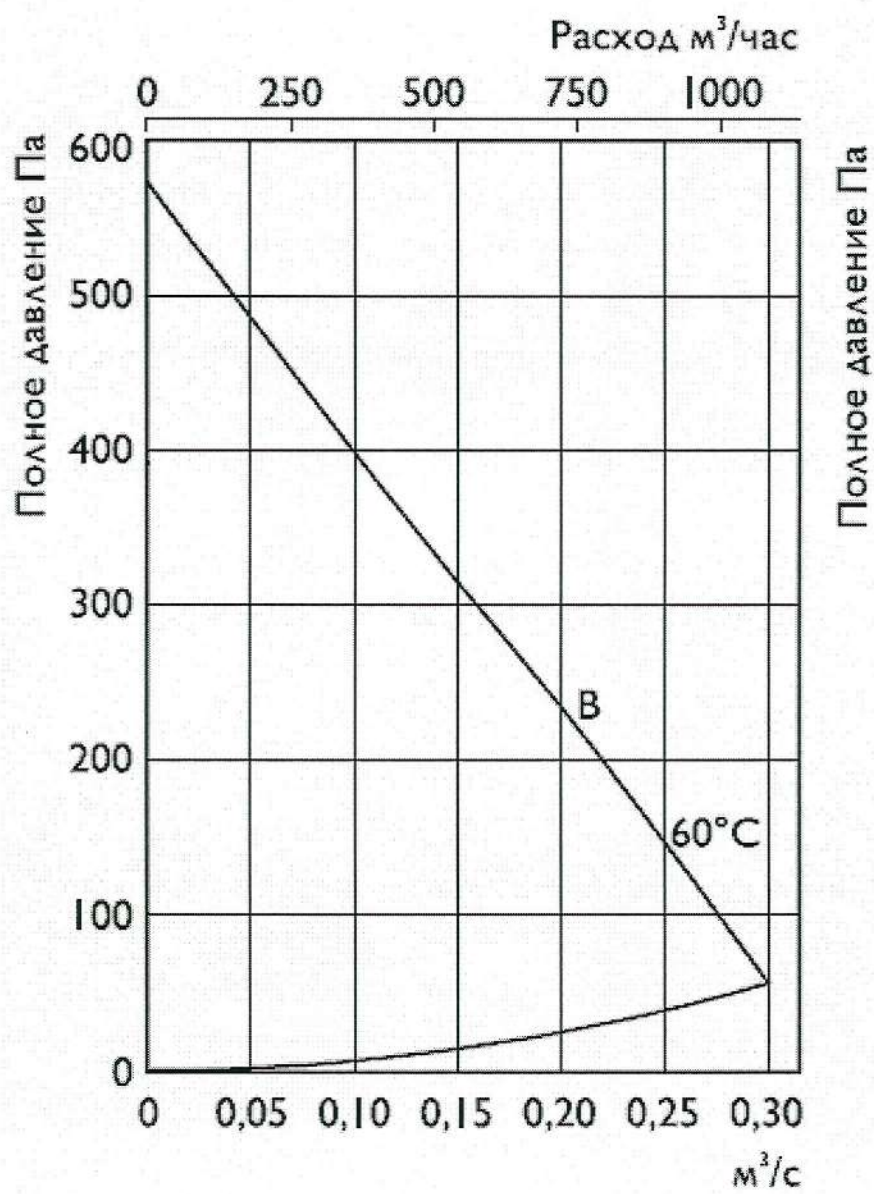


Рис.7. Характеристика вентилятора СК 200В