

Владимирский государственный университет

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ВЕНТИЛЯЦИЯ»**

Владимир 2026

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ВЕНТИЛЯЦИЯ»

Электронное издание



Владимир 2026

ISBN 978-5-9984-2195-2

© ВлГУ, 2026

УДК 697.9
ББК 38.762.2

Автор-составитель С. В. Угорова

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
С. Г. Драгомиров

Кандидат технических наук
начальник проектно-сметного отдела ООО «Климат-Сервис»
А. А. Сущинин

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Лабораторный практикум по дисциплине «Вентиляция» [Электронный ресурс] / авт.-сост. С. В. Угорова ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2026. – 76 с. – ISBN 978-5-9984-2195-2. – Электрон. дан. (2,54 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Содержит материал для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Вентиляция»: необходимые справочные данные, методику обработки результатов измерений, контрольные вопросы.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» (профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»).

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 8. Ил. 24. Библиогр.: 8 назв.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
Лабораторная работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА (ТМЖ-1м).....	8
Лабораторная работа № 2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ	13
Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ В КРУГЛОЙ ТРУБЕ.....	26
Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ КАНАЛЕ	32
Лабораторная работа № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МЕСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ВНЕЗАПНОМ РАСШИРЕНИИ КАНАЛА.....	38
Лабораторная работа № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МЕСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ВНЕЗАПНОМ СУЖЕНИИ КАНАЛА.....	44
Лабораторная работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В ДИФФУЗОРЕ	49
Лабораторная работа № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МЕСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНФУЗОРА.....	56
Лабораторная работа № 9. ИСПЫТАНИЕ РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА И ПОСТРОЕНИЕ ЕГО ПОЛНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	74
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	75

ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Дисциплина «Вентиляция» относится к вариативной части профессионального цикла обязательных дисциплин направления подготовки 08.03.01 «Строительство» (профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»). В результате ее изучения у студентов должны быть сформированы следующие компетенции:

- способность выполнять обоснование проектных решений систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ПК-5);
- способность организовывать производство работ в сфере монтажа систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ПК-8);
- способность осуществлять и контролировать обеспечение процесса монтажа систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха материалами, изделиями и оборудованием (ПК-12);
- способность разрабатывать технические решения элементов и узлов систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ПК-14).

Приведем основные определения.

Вентиляция – обмен воздуха в помещениях для удаления избытка теплоты, влаги и вредных веществ с целью обеспечения допустимого микроклимата и качества воздуха в обслуживаемом помещении или рабочей зоне [1].

Система вентиляции – комплекс функционально связанных между собой оборудования, установок, устройств, воздухопроводов, осуществляющих обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных веществ с целью обеспечения допустимых метеорологических условий и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне помещения.

Вентиляция зданий и сооружений – один из основных разделов строительной науки и техники. Системы вентиляции обеспечивают поддержание оптимальных климатических условий в помещениях жилых, общественных, производственных зданий.

В последнее время в связи со значительными объемами строительства инженерных систем, в частности систем вентиляции в строящихся зданиях и при реконструкции существующих, а также с возросшими требованиями к комфорту помещений и параметрам воздуха при выполнении технологических процессов увеличился спрос на специалистов, занимающихся проектированием и обслуживанием подобных систем.

Основная цель вентиляции – поддержание допустимых параметров воздуха в помещении – может быть достигнута различными путями. Например, для обычного помещения с избытками тепла поддерживать необходимые условия можно и посредством естественного проветривания (аэрация), и с помощью вентиляторов, и подавая в помещение специально обработанный (охлажденный) воздух. Способы подачи и удаления воздуха весьма разнообразны.

При выборе системы вентиляции в первую очередь должны учитываться санитарно-гигиенические и технологические требования, а также экономические факторы. При проектировании вентиляции традиционно предпочтение отдается наиболее простым из обеспечивающих заданные условия способам. При этом следует стремиться уменьшать производительность систем, принимая целесообразные конструктивно-планировочные решения здания, внедряя технологические процессы с минимумом вредных выделений, устраивая укрытия мест образования вредных выделений. Наиболее целесообразная система вентиляции выбирается при участии специалистов разных профилей – сантехников, строителей и технологов.

При расчете систем вентиляции определяются потери на трение по длине канала (воздуховода) и потери давления в местных сопротивлениях. К местным сопротивлениям относятся короткие участки каналов (воздуховодов), на которых происходит изменение скорости по величине и направлению.

В издании приведены лабораторные работы, для выполнения которых используется универсальный лабораторный аэродинамический стенд ТМЖ-1м, позволяющий изучать:

- 1) принцип работы стенда;
- 2) работу приборов для измерения параметров воздуха;
- 3) потери напора по длине в круглой трубе (модуль 1);

- 4) потери напора по длине в прямоугольном канале (модуль 2);
- 5) потери напора на внезапном сужении (модуль 3);
- 6) течения в диффузоре;
- 7) конфузоры в сети воздухопроводов.

Для выполнения лабораторных работ студенты должны ознакомиться с правилами поведения в лаборатории и инструкцией по технике безопасности, описанием экспериментального стенда и порядком выполнения работ, всеми методиками замеров и требованиями к оформлению отчета. При выполнении лабораторных работ студенты обязаны **соблюдать следующие правила** [2].

1. Не нарушать самим и предостерегать других от нарушений правил техники безопасности и внутреннего распорядка. Не трогать, не включать и не выключать без указания руководителя лабораторных работ рубильники, кнопки и другие устройства, ошибочное включение которых может стать причиной несчастных случаев или аварии оборудования.

2. Приступая к работе, необходимо внимательно ознакомиться с правилами техники безопасности, методическими руководствами и экспериментальной установкой, проверить наличие и исправность ограждений и предохранительных устройств. При обнаружении неисправностей и нарушений правил техники безопасности следует сообщить об этом руководителю.

3. Не допускать загромождения рабочего места оборудованием и материалами, не относящимися к выполняемой работе. Это может стать причиной несчастного случая.

4. При выполнении лабораторных работ необходимо заниматься только порученной работой. Попутное выполнение других работ, не относящихся к порученному делу, категорически воспрещается.

5. Бережно обращаться с приборами, лабораторным и аудиторным оборудованием. Не находиться в лаборатории в верхней одежде.

6. По окончании работы в лаборатории необходимо убрать рабочее место, оборудование и приборы привести в исходное положение.

При проведении лабораторных работ **категорически ЗАПРЕЩАЕТСЯ:**

1) выполнять работы без предварительного инструктажа по технике безопасности и изучения методических руководств;

2) находиться в лаборатории, в которой не работает ваша группа, ходить без надобности по лаборатории во время выполнения заданий, оставив без наблюдения свою установку;

3) находиться в лаборатории в верхней одежде, курить или пользоваться открытым огнем;

4) оставаться одному во время проведения работы в лаборатории: наличие второго лица является обязательным на случай оказания помощи или принятия мер при несчастном случае или возникновении пожара. При возникновении пожара необходимо вызвать пожарную команду по телефону «01». До прибытия пожарных следует начать тушение при помощи огнетушителя, сухого песка или асбестовых полотнищ;

5) касаться горячих деталей установок и оголенных токоведущих частей, а также одновременно прикасаться к корпусу электроприбора и трубам водопровода, радиаторам отопления или другим заземленным металлическим деталям;

6) касаться вращающихся частей установки, которые кажутся неподвижными.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА (ТМЖ-1м)

Цель работы: изучить устройство универсального лабораторного аэродинамического стенда (ТМЖ-1м) и особенности его подготовки к работе.

Общие сведения

Лабораторный аэродинамический стенд предназначен для проведения следующих испытаний:

- 1) определения коэффициента гидравлического сопротивления для трубы (воздуховода);
- 2) определения коэффициента местных сопротивлений элементов вентиляционной сети;
- 3) снятия аэродинамических характеристик вентилятора.

Общий вид стенда показан на рис.1. Он представляет собой разборную конструкцию, которая состоит из верхней и нижней секций с подсоединенным к последней вентилятором.

Верхняя секция состоит из сварного каркаса *1*, на котором закреплены две панели *6* и *7*. Панели выполнены в виде открывающихся дверей, на лицевой поверхности которых расположены шесть вертикальных и четыре наклонных пьезометра *12*, *13*, штуцера *14* для подключения к исследуемым точкам модуля и «опросные» гнезда *15*, к которым через переходник подсоединяется микроманометр. На внутренней поверхности панелей размещены батареи питания пьезометров. Все внутренние соединения на панелях ведутся по схеме пневмогидравлических соединений (рис. 2).

Верхняя секция имеет панель *3*, выполненную в виде жесткого короба, на поверхности которого с помощью магнитов может быть закреплен графический материал, необходимый для выполнения лабораторных работ. За панелью установлен воздуховод *5*, соединенный с фланцем *16* вентилятора *8*.

Нижняя секция выполнена в виде тумбы *2*, в которой размещен вентилятор *8*, и рабочей поверхности стола. Стол имеет выдвигающую столешницу *20*, на которой устанавливается исследуемый модуль.

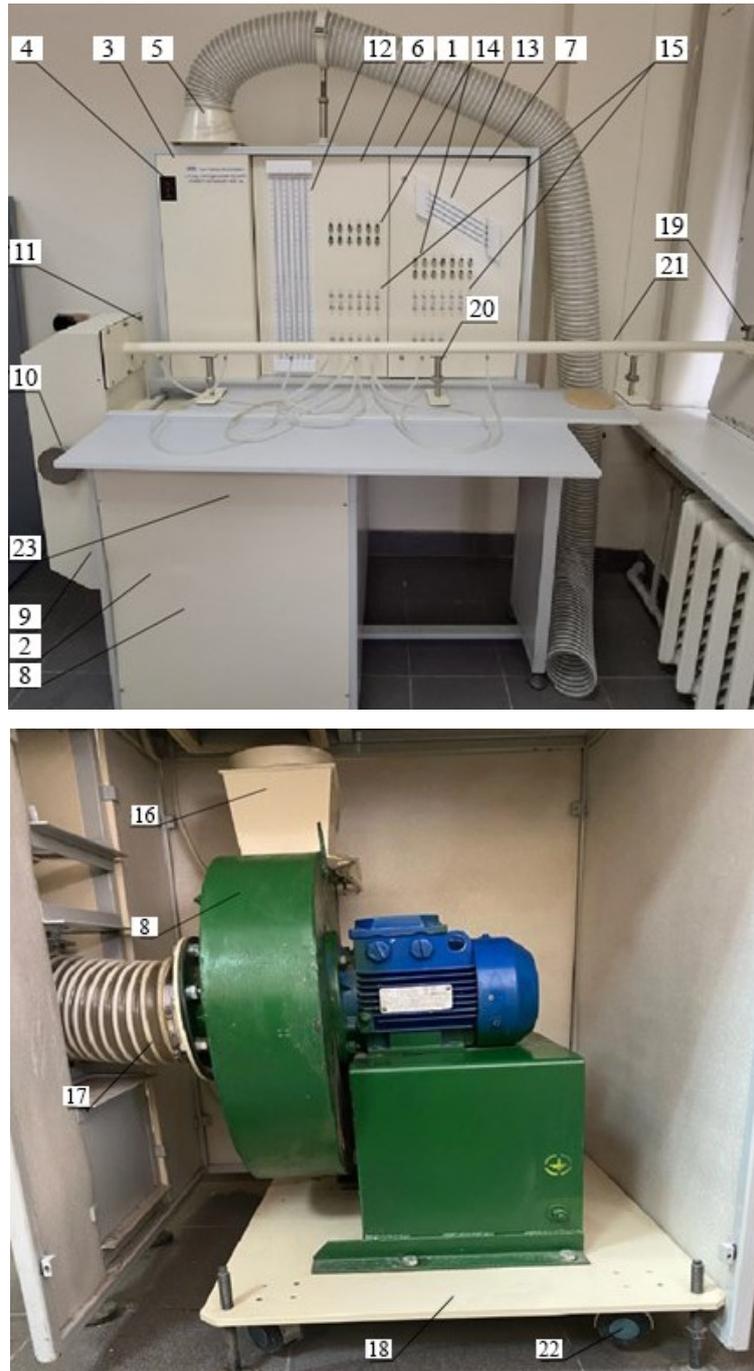


Рис. 1. Стенд универсальный лабораторный аэродинамический (ТМЖ-1м) с установленным модулем 1: 1 – сварной каркас; 2 – нижняя секция в виде тумбы; 3 – панель верхней секции; 4 – автоматический выключатель; 5 – воздуховод; 6, 7 – панели; 8 – вентилятор; 9 – кожух; 10 – ручка заслонки; 11 – фланец для подсоединения модулей; 12, 13 – пьезометры; 14 – штуцера для подключения пьезометров; 15 – «опросные» гнезда; 16 – фланец вентилятора; 17 – гибкий патрубок; 18 – основание для установки вентилятора; 19 – направляющий корпус для установки цилиндрического зонда; 20 – выдвигающаяся столешница; 21 – регулируемые опоры; 22 – колесные опоры; 23 – панель, закрывающая вентилятор

Вентилятор размещен на отдельном основании, имеющем четыре колесные опоры 22. Входной фланец вентилятора соединен через гибкий патрубок 17 с воздухопроводом, который имеет фланец 11 для подсоединения исследуемого модуля.

Тумба с вентилятором закрыта панелью 23, воздухопровод закрыт кожухом 9. В средней части всасываемого воздухопровода расположен регулятор расхода воздуха, выполненный в виде дроссельной заслонки, позволяющей плавно изменять расход воздуха в пределах регулирования. Механизм управления заслонкой – ручка 10 вынесена на наружную поверхность воздухопровода.

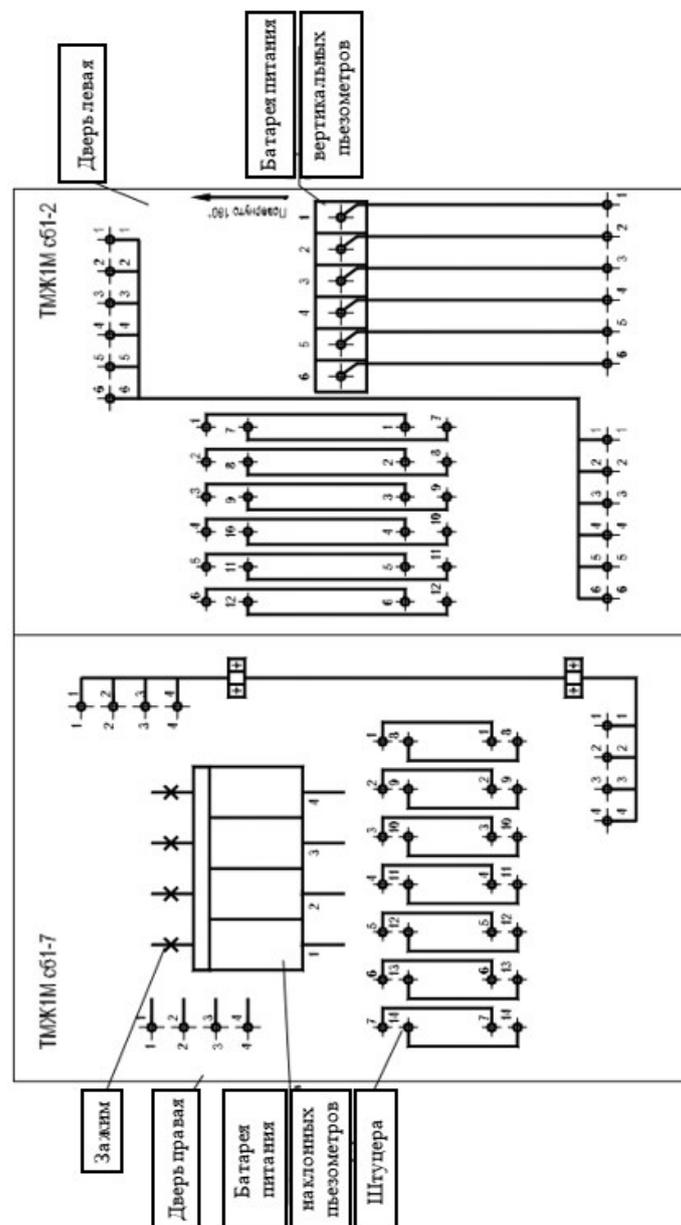


Рис. 2. Схема пневмогидравлических соединений

Стенд комплектуется модулями. Модуль представляет собой трубу с прямоугольным или круглым сечением. Для снятия характеристик воздушного потока в исследуемых точках на модулях расположены штуцера, которые воздушными каналами связаны с внутренней поверхностью проточного канала модуля. Для проведения лабораторных работ штуцера на модулях соединяются со штуцерами на панелях гибкими трубками.

Каждый модуль имеет на одном конце фланец для подсоединения к стенду, на другом конце (входном) – направляющий корпус 19 для установки цилиндрического зонда, а также регулируемые по высоте опоры 21 для горизонтальной установки на столешнице стенда.

Стенд имеет следующие модули: модуль 1 представляет собой трубу круглого сечения постоянного диаметра, модуль 2 – трубу прямоугольного постоянного сечения по всей длине, модуль 3 – трубу круглого сечения с различными диаметрами входного и выходного участков. Между входным и выходным участками должны устанавливаться исследуемые диффузоры с углом конуса 8° , 20° , 60° .

Модуль 4 представляет собой трубу прямоугольного сечения с изменяющимся поперечным сечением выходного участка и постоянным сечением входного участка.

Технические характеристики стенда ТМЖ-1м

Время подготовки к работе, мин.....	30
Диапазон скорости рабочего потока воздуха, м/с.....	от 20 до 50
Габаритные размеры стенда, мм:	
длина.....	1300
ширина.....	670
высота.....	1700
Пределы измерения по шкале пьезометров.....	0 – 600
Цена деления шкалы пьезометров, мм.....	1
Масса (с модулями), кг.....	170
Электропитание от трехфазной сети переменного тока:	
напряжение, В.....	380
частота, Гц.....	50
Потребляемая мощность, В·А.....	1000

Подготовка стенда к работе

Для подготовки стенда к работе необходимо:

1. Заполнить батареи питания пьезометров на панели *б* водой таким образом, чтобы уровень воды в пьезометрических трубках соответствовал нулевой отметке.
2. Установить соответствующий лабораторной работе модуль на столешницу *20*, соединить фланец *11* с ним с помощью гаек.
3. Подключить исследуемые точки модуля к штуцерам на лицевых панелях с помощью гибких трубок.
4. С помощью регулятора расхода воздуха, выполненного в виде дроссельной заслонки, используя механизм управления заслонкой – ручку *10*, установить расход воздуха для первого замера.
5. Включить вентилятор, снять показания с пьезометров, определить расход воздуха.
6. Изменить положение ручки регулятора расхода и снять замеры.

Контрольные вопросы

1. Каким образом можно изменить расход воздуха при снятии замеров?
2. Для чего нужны пьезометры?
3. Что такое расход воздуха и в каких единицах он измеряется?
4. В какой последовательности происходит подготовка стенда к работе?
5. Как подключаются модули – на всасывании или нагнетании вентилятора?
6. Что представляет собой модуль *2*?
7. Как установить модуль?
8. Каково назначение воздуховода?

Лабораторная работа № 2

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Цель работы: изучить основные понятия измеряемых величин, способы снятия замеров и измерительные приборы.

Общие сведения

Измерение параметров воздушной среды, содержания паров и газов вредных веществ, уровня шума и вибраций в рабочей зоне помещений, измерение давления и расхода воздуха при наладке и регулировке систем обеспечения микроклимата невозможно без использования современных измерительных приборов.

Специалистам, разрабатывающим системы обеспечения микроклимата, необходимо знать принцип действия контрольно-измерительных приборов, методики проведения замеров и обработки их результатов.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне. Часто измерительным прибором называют средство измерений для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия оператора.

Классификация измерительных приборов

1. По способу представления информации
 - Показывающий измерительный прибор – измерительный прибор, допускающий только отсчитывание показаний значений измеряемой величины.
 - Регистрирующий измерительный прибор – измерительный прибор, в котором предусмотрена регистрация показаний. Значения могут регистрироваться в аналоговой или цифровой формах. Различают самопишущие и печатающие регистрирующие приборы.
2. По методу измерений
 - Измерительный прибор прямого действия – измерительный прибор, в котором выполняется одно или несколько преобразований измеряемой величины, а ее значение находится без сравнения с известной одноименной величиной.

- Измерительный прибор сравнения – измерительный прибор, предназначенный для непосредственного сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно.

3. По форме представления показаний

- Аналоговый измерительный прибор – измерительный прибор, показания которого или выходной сигнал являются непрерывной функцией измеряемой величины.

- Цифровой измерительный прибор – измерительный прибор, показания которого представлены в цифровой форме.

4. По другим признакам

- Суммирующий измерительный прибор – измерительный прибор, показания которого функционально связаны с суммой двух или нескольких величин, подводимых к нему по разным каналам.

- Интегрирующий измерительный прибор – измерительный прибор, который значение измеряемой величины определяет путем ее интегрирования по другой величине.

- По способу применения и конструктивному исполнению (стационарные, щитовые, панельные, переносные).

- По принципу действия с учетом конструкции (с подвижными частями и без подвижных частей).

- Для приборов с механической частью – также по способу создания противодействующего момента (с механическим противодействием, магнитным или на основе электромагнитных сил).

- По характеру шкалы и положению на ней нулевой точки (равномерная шкала, неравномерная).

- По конструкции отсчетного устройства.

- По точности измерений.

- По виду используемой энергии (электромеханические, электро-тепловые, электрокинетические).

- По роду измеряемой величины (вольтметры, частотомеры и др.).

Давление: единицы измерения, виды

Давление жидкостей, паров и газов определяется силой, действующей равномерно на единицу поверхности. Измеряют атмосферное, избыточное, вакуумметрическое и абсолютное давление.

Атмосферное давление $p_{\text{атм}}$ соответствует среднему давлению атмосферного воздуха при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и составляет 760 мм рт. ст. = 1013,25 мбар = 101,3 кПа. Атмосферное давление, равное давлению столба ртути

высотой 760 мм при температуре 20 °С, называется нормальным атмосферным давлением. Атмосферное давление измеряется барометром.

Избыточное давление измеряется манометром, пьезометром, определяется по формуле

$$p_{\text{изб}} = p_{\text{абс}} - p_{\text{атм}}$$

где $p_{\text{абс}}$ – абсолютное давление, отсчитанное от нуля относительно идеального вакуума с использованием абсолютной шкалы.

Абсолютное давление – истинное давление, под которым находится жидкость, газ или пар.

Вакуумметрическое давление $p_{\text{вак}}$, или вакуум, – это недостаток давления до атмосферного, давление разреженного газа. Оно определяется как разность между атмосферным и абсолютным давлением, которое ниже атмосферного:

$$p_{\text{вак}} = p_{\text{атм}} - p_{\text{абс}}$$

Единицей измерения давления в системе СИ является паскаль (Па). Применяются и внесистемные единицы измерения давления. Для перевода из одних единиц измерения в другие используют соотношения, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Соотношение между единицами измерения давления

Единица измерения	Паскаль, Па	Техническая атмосфера, ат	Бар, бар	Килограмм-сила на сантиметр квадратный, кгс/см ²	Миллиметр водяного столба, мм вод. ст.	Миллиметр ртутного столба, мм рт. ст.
1 Па	1 Н/м ²	10 ⁻⁵	10,1972 · 10 ⁻⁶	10,1972 · 10 ⁻⁶	10,1972 · 10 ⁻²	7500,64 · 10 ⁻⁶
1 бар	1 · 10 ⁵	1	1,01972	1,01972	10197,3	750,064
1 кгс/см ²	98066,5	98066,5 · 10 ⁻⁵	1	1	10000	735,561
1 мм вод. ст.	9,80665	98066,5 · 10 ⁻⁵	10 · 10 ⁻⁵	10 · 10 ⁻⁵	1	7,3556110 ⁻²
1 мм рт. ст.	133,322	0,13322 · 10 ⁻²	0,13595 · 10 ⁻²	0,13595 · 10 ⁻²	0,13595 · 10 ⁻²	1

При движении воздуха в каналах, воздуховодах определяют статическое, динамическое и полное давление.

Статическое давление $p_{ст}$ – это потенциальная энергия потока воздуха, действующая по нормали на стенки воздуховода. Если воздух не движется, то он имеет только статическое давление.

Движущийся воздух в воздуховоде имеет статическое и динамическое давление. Динамическое давление p_d связано с движением воздуха – это кинетическая энергия потока воздуха. Под динамическим давлением понимается давление воздуха, которое нужно приложить к неподвижному воздуху, чтобы он преодолел сопротивление сил трения и двигался со скоростью v .

Динамическое давление определяется по формуле [3]

$$p_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2},$$

где v – скорость движения воздуха в воздуховоде; ρ – плотность воздуха, которая определяется по формуле

$$\rho = \frac{353}{273+t},$$

где t – температура воздуха.

Полное давление p равно сумме статического и динамического давлений:

$$p = p_{ст} + p_d.$$

Измерительные приборы: термоанемометр, батарейный манометр

Измерительные приборы, используемые при выполнении лабораторных работ:

- термоанемометр Testo 425;
- батарейный манометр.

Термоанемометр Testo 425 [4] предназначен для измерения скорости воздушного потока в диапазоне от 0,1 до 40,0 м/с и температуры воздуха от -20 до $+70$ °С и оснащен телескопической рукояткой (рис. 3).

Принцип работы при измерении скорости потока основан на измерении тока, которым нагревается платиновый терморезистор, помещенный в воздушный поток. При охлаждении терморезистора воздушным потоком увеличивается сила тока на его подогрев для поддержания постоянного значения сопротивления. Увеличение тока подогрева прямо пропорционально скорости воздушного потока. В качестве чувствительного элемента для измерения температуры применен полупроводниковый термистор.

В табл. 2 даны условные обозначения кнопок термоанемометра Testo 425.



Рис. 3. Термоанемометр Testo 425:
 1 – зонд; 2 – дисплей; 3 – панель управления;
 4 – отделение для батарейки; 5 – телескопическая рукоятка

Таблица 2

Функциональные кнопки термоанемометра

Номер кнопки	Графическое изображение кнопки	Функция кнопки
1		Включение/выключение прибора (нажать и удерживать)
2		Включение/выключение подсветки
3		Функция фиксации/минимальные и максимальные значения величин
4		Многократные измерения, расчет усредненного значения
5		Объемный расход
6		В меню конфигурации: увеличить значение, выбрать опцию
7		В меню конфигурации: уменьшить значение, выбрать опцию

Технические характеристики термоанемометра Testo 425

Диапазон измерений:

скорости воздушного потока от 0,1 до 20 м/с

температуры от -20 до +70 °С

Диапазон показаний:

скорости воздушного потока от 0 до 20 м/с

температуры от -20 до +70 °С

Значение единицы младшего разряда 0,01 м/с, 0,1 °С

Пределы допускаемых значений

основной абсолютной погрешности:

скорости воздушного потока $\Delta_v = \pm(0,1+0,05V)$

температуры $\Delta_t = \pm 0,5$ – в диапазоне от 0 до +50 °С

$\Delta_t = \pm 0,7$ – в остальном диапазоне

Пределы допускаемой дополнительной

абсолютной погрешности, вызванной

изменением температуры на 1 °С

от нормальной $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, м/с $\pm 0,3\Delta_v$

В измерениях используются следующие величины:

V – скорость воздушного потока, м/с;

Δ_v – пределы допускаемых значений основной абсолютной погрешности при измерении скорости воздушного потока, м/с;

Δ_t – пределы допускаемых значений основной абсолютной погрешности при измерении температуры, °С.

Метрологические характеристики прибора

Рабочая среда воздух

Напряжение питания 9 В

Диапазон рабочих температур от -20 до +50 °С

Относительная влажность не более 80 %

Диапазон температуры хранения -40 до +80 °С

Габаритные размеры (Д × Ш × В) не более 182 × 64 × 40 мм

Масса не более 0,285 кг

Наработка на отказ 5000 ч

Работа с прибором

Включение прибора – нажмите кнопку *1*, температурная ячейка нагревается (5 с), открывается окно измерений и на дисплее появляется

значение скорости и температуры или символы -----, если измерение невозможно.

Выключение прибора – нажмите кнопку 1 и удерживайте около 2 с, пока дисплей не погаснет.

Включение подсветки – нажмите кнопку 2.

Настройка прибора – прибор включен, находится в меню измерений, кнопки Hold, Max, Min не активированы.

Нажмите и удерживайте кнопку 3 (около 2 с), пока прибор не перейдет в меню конфигурации. После этого с помощью кнопки 3 можно перейти к следующей функции меню.

Ввод площади – прибор находится в меню конфигурации, мигает m^2 . Установите размер площади кнопками 6, 7 и подтвердите кнопкой 3.

Установка единиц измерения – прибор находится в меню конфигурации, на дисплее отображается UNIT. Кнопками 6, 7 задайте единицу измерения для верхней строки (m/s) и подтвердите выбор кнопкой 3. Кнопками 6, 7 задайте единицу измерения для нижней строки (m^3/h , l/s) и подтвердите выбор кнопкой 3.

Перезагрузка прибора – прибор находится в меню конфигурации, на дисплее отображается RESET. Выберите желаемую опцию кнопками 6, 7 и подтвердите кнопкой 3:

- No – прибор не перезагружается;
- Yes – прибор перезагружается, устанавливаются заводские настройки;
- прибор сам вернется в меню измерений.

Выполнение измерений

Прибор включен и находится в меню измерений. Установите зонд в необходимой позиции. Стрелка на головке зонда должна быть расположена в направлении потока.

Изменение параметров замеров – для отображения температуры ($^{\circ}C$) на рассчитываемый расход (m^3/h , l/s) нажмите кнопку 5.

Фиксация текущих данных измерений на дисплее, отображение максимальных и минимальных значений – текущие значения измерений могут быть сохранены. Максимальные и минимальные значения с момента последнего включения прибора могут быть отображены

на дисплее. Нажмите кнопку 3 несколько раз, пока не появятся значения, которые отображаются в следующем порядке:

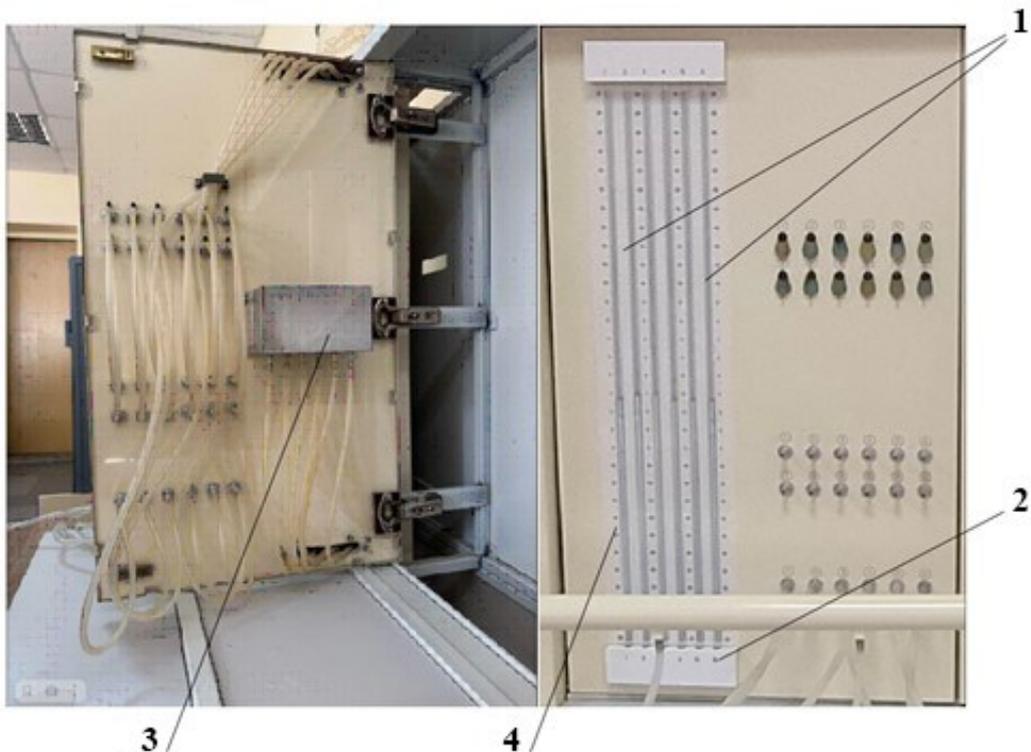
- Hold – записанное значение;
- Max – максимальное значение;
- Min – минимальное значение;
- текущее значение.

Сброс максимальных/минимальных значений – максимальные/минимальные значения могут быть заменены на текущие значения. Для этого нажмите кнопку 3 несколько раз, пока на дисплее не появится Min или Max. Нажмите и удерживайте кнопку 3 около 2 с – и минимальные и максимальные значения поменяются на текущие.

Выполнение измерений в нескольких местах – кнопки Hold, Max, Min не активированы. Нажмите кнопку 4 и на верхней строке дисплея отобразится количество записанных значений, а текущее значение – на нижней. Для переключения между температурой ($^{\circ}\text{C}$), скоростью воздушного потока (m/s) и рассчитываемым объемным расходом (m^3/h , l/s) нажмите кнопку 5. Для того чтобы добавить значения, нажмите кнопку 3 несколько раз. Для завершения измерений и расчета усредненного значения нажмите кнопку 4. Для возврата в меню измерений нажмите кнопку Mean. На дисплее начнет мигать кнопка Mean и появится расчетное усредненное значение. Для возврата в меню нажмите кнопку 4.

Батарейный манометр (рис. 4) применяется, если необходимо измерить давление одновременно во многих точках, например когда исследуется давление в нескольких точках воздуховода (канала). Устройство состоит из пьезометрических трубок 1, сборного коллектора 2, резервуара с водой 3 и отсчетной шкалы 4. К каждой трубке подводится свое давление. Коллектор, к которому присоединяются трубки, можно устанавливать под различными углами к горизонту, что позволяет выбирать необходимую чувствительность прибора (для всех каналов одинаковую). Резервуар с водой (общая емкость) соединяется с атмосферой.

Для того чтобы предусмотреть возможность как избыточных, так и вакуумметрических давлений (давлений меньше атмосферного), нулевое положение жидкости в измерительных трубках находится посередине отсчетной шкалы батарейного манометра.



*Рис. 4. Батарейный манометр: 1 – пьезометрические трубки;
2 – сборный коллектор; 3 – резервуар с водой;
4 – отсчетная шкала.*

Дифференциальный цифровой манометр

При пусконаладке и эксплуатации систем вентиляции требуется измерять относительно малые давления воздуха. Для этого применяют специальные приборы, наибольшее распространение среди которых получил дифференциальный цифровой манометр [5] (рис. 5).

Дифференциальный цифровой манометр ДМЦ-01 (далее – ДМЦ) предназначен для измерения таких показателей, как давление, разрежение и разность давлений газов.

В комплекте с напорными трубками Пито – Прандтля (далее – трубки ПП), в соответствии с ГОСТ 8.361-79, манометр позволяет определять скорость и объемный расход газа в одной точке поперечного сечения трубы.

ДМЦ выполняет следующие функции: автоматическая установка нуля, измерение давления (разрежения), разности давлений, удержание показаний на дисплее, расчет среднего, минимального и максимального значений, а также выбор единиц измерения: Па или мм вод. ст. Характеристики прибора и условия эксплуатации представлены в табл. 3.



Рис. 5. Манометр дифференциальный цифровой типа ДМЦ-01А: а – фронтальный вид; б – вид сверху (штуцера для подключения давления)

Таблица 3

Характеристики ДМЦ

Техническая характеристика	Значение (диапазон)
Температура окружающего воздуха	0 – 40 °С
Относительная влажность воздуха	до 80 %
Атмосферное давление	84 – 106,7 кПа (630 – 800 мм рт. ст.)
Предел допускаемой дополнительной погрешности при отклонении температуры окружающего воздуха на каждые 5 °С от нормальной (20 ± 5) °С, Па (мм вод. ст.), не более	0,1 (0,01)
Цена единицы наименьшего разряда индикации, Па (мм вод. ст.)	0,1 (0,01)
Допустимая перегрузка по перепаду давления, Па (мм вод. ст.), не более	5000 (500)
Номер версии встроенного ПО	1.09
Время непрерывной работы без подзарядки аккумуляторной батареи, без подсветки дисплея, ч, не менее	8

Окончание табл. 3

Техническая характеристика	Значение (диапазон)
Время установления рабочего режима, с, не более	100
Номинальное напряжение питания, В	8,4
Потребляемая мощность, В · А, не более	1,0
Габаритные размеры, мм, не более	165 × 85 × 35
Масса в комплекте, кг, не более	1,0
Средний срок службы, лет, не менее	6
Содержание драгметаллов	Нет

ДМЦ собран в пластмассовом корпусе, на лицевой стороне которого расположены жидкокристаллический дисплей и панель с функциональными кнопками управления работой прибора (табл. 4).

Таблица 4

Функциональные кнопки ДМЦ

Описание кнопки	Изображение
Фиксация показаний	
Установка нуля	
Включение/выключение режима усреднения	
Выбор единиц измерения	
Включение/выключение подсветки дисплея	
Включение/выключение прибора	
Включение/выключение режима автоматической установки нуля	

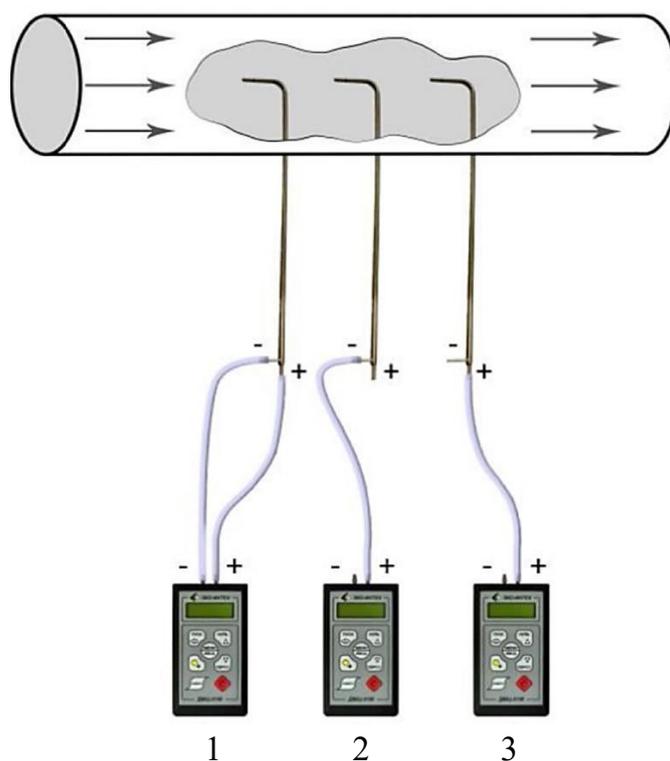
На торцевой панели расположены штуцера для подключения к источникам давления: штуцер «+» предназначен для подключения полного давления p , штуцер «-» – для статического $p_{ст}$, а также разъем, обозначенный надписью «RS-232» – для подключения интерфейсного кабеля. На боковой панели находится разъем для подключения заряд-

ного устройства (ЗУ) или сетевого блока питания, на задней панели – подставка для размещения ДМЦ на ровной горизонтальной поверхности.

ДМЦ работает следующим образом. Измеряемое давление, приложенное к полупроводниковому датчику, преобразуется в электрический сигнал, величина которого пропорциональна измеряемому давлению. Этот сигнал преобразуется аналого-цифровым преобразователем и передается в микроконтроллер, который в соответствии с заложенной в память градуировочной характеристикой выводит на дисплей прибора значения измеренного давления.

Питание ДМЦ осуществляется от аккумуляторной батареи, установленной в батарейном отсеке, или от сетевого блока питания. Лабораторные работы проводятся при подключении сетевого блока питания.

При подготовке ДМЦ к работе необходимо расположить прибор в горизонтальном или вертикальном (но не боковом) положении или опереть его на подставку, расположенную на задней панели, к штуцерам прибора герметично подключить источник давления (рис. 6), используя соединительные шланги.



*Рис. 6. Схемы подключения ДМЦ и трубок ПП:
1 – измерение динамического давления, скорости потока;
2 – измерение статического давления;
3 – измерение полного давления*

ВНИМАНИЕ! Шланги должны быть герметичными и плотно надеты на штуцера прибора. Следует избегать резкого локального сдавливания и перегиба с малым радиусом шлангов, соединяющих источник давления (напорную трубку) и прибор. Нарушение данного требования приводит к резкому скачку давления и разрыву мембраны датчика.

Перед началом работы необходимо подключить прибор в сеть (табл. 5).

Таблица 5

Последовательность включения ДМЦ

Этап	Изображение на приборе/дисплее прибора
Включить прибор нажатием кнопки. На дисплее последовательно появятся короткие сообщения	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">ДМЦ-01А</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">ВЕРСИЯ: 1.09</div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> ЭКО-ИНТЕХ www.eco-intech.com </div> </div>
Затем прибор начнет прогрев и тестирование. На дисплее будет индицироваться сообщение. При этом на экране отображается обратный отсчет оставшегося времени прогрева, а также высвечивается индикатор заряда аккумулятора	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; display: inline-block;"> Прогрев: 59 </div>
По окончании прогрева прибор автоматически установит нуль	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Установка нуля ПОДОЖДИТЕ </div>
Затем на дисплее появится сообщение «Выбрать необходимую единицу измерений: мм водяного столба («мм Н ₂ О») или Паскаль («Па»)). Прибор готов к проведению измерений	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;"> 0.00 мм Н₂О </div> <p>или</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 0.0 Па </div>

Контрольные вопросы

1. Можно ли, используя термоанемометр, по его показаниям определить расход воздуха и что для этого нужно сделать?
2. Каким образом, используя термоанемометр, можно выполнить замеры в нескольких точках?
3. В каких случаях применяется батарейный манометр?
4. Напишите формулу для определения динамического давления.
5. Чему равно атмосферное давление?
6. В каких единицах измеряется давление?
7. Какое давление называется статическим?
8. Как установить единицы измерения у термоанемометра?

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ В КРУГЛОЙ ТРУБЕ

Цель работы: определить коэффициент гидравлического трения экспериментально и сравнить с теоретическим, построить графическую зависимость экспериментального коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса.

Общие сведения

Для круглой трубы, имеющей по всей своей длине одинаковое поперечное сечение и неизменный расход воздуха, уравнение, выражающее собой линейные потери удельной энергии – давление $\Delta p_{\text{тр}}$, имеет вид

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2},$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (коэффициент сопротивления); l – длина трубы, м; ρ – плотность, кг/м³; v – средняя скорость воздуха, м/с; d – диаметр трубы, м.

Коэффициент гидравлического трения

$$\lambda = \frac{2 \cdot d \cdot \Delta p_{\text{тр}}}{l \cdot \rho \cdot v^2}.$$

Коэффициент трения является переменной величиной и зависит от характера движения воздуха в трубе, который может быть ламинарным и турбулентным. Первый характеризуется тем, что отдельные струйки движутся в потоке прямолинейно параллельно друг другу; второй – наличием поперечных к оси трубопровода пульсаций частиц жидкости, движущейся по беспорядочным и неустойчивым траекториям. Критерием, служащим для определения наличия того или другого характера движения, считается критерий (или число) Рейнольдса – Re . Коэффициент трения при ламинарном режиме движения воздуха зависит только от числа Re . В частном случае для трубы круглого сечения

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu},$$

где v – скорость воздуха, м/с; d – диаметр трубы, м; ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м²/с.

Значения коэффициента кинематической вязкости воздуха ν приведены в табл. 6.

Таблица 6

Значения коэффициента кинематической вязкости воздуха

Температура воздуха t_b , °C	Коэффициент кинематической вязкости ν , м ² /с
-20	0,0000113
-10	0,0000121
0	0,0000130
10	0,0000139
20	0,0000157
40	0,0000170
60	0,0000192

Критерий Re – величина безразмерная. Коэффициент трения зависит от числа Рейнольдса и относительной шероховатости стенки трубы Δ/d , где Δ – абсолютная шероховатость, т. е. средняя высота отдельных мельчайших выступов и неровностей на поверхности стенок в радиальном направлении, выраженная в миллиметрах, а d – диаметр трубы в миллиметрах. Величина относительной шероховатости характеризует внутренние поверхности труб в гидравлическом отношении. На рис. 7 графически изображена зависимость коэффициента трения λ от числа Re и относительной шероховатости Δ/d .

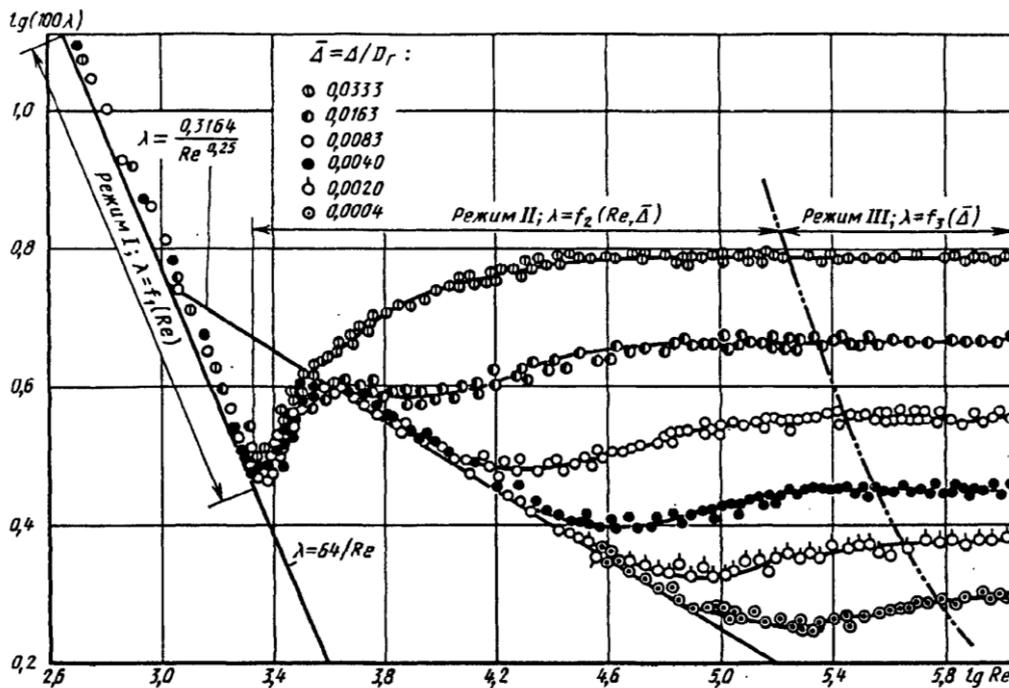


Рис. 7. Зависимость коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса для труб с равномерно-зернистой шероховатостью [6]

Ламинарный режим относится к малым значениям числа Re ($Re \approx 2000$) и характеризуется тем, что шероховатость не оказывает никакого влияния на величину гидравлического сопротивления, поэтому λ рассчитывается по формуле

$$\lambda = \frac{64}{Re}.$$

Переходный режим содержит три участка кривых сопротивлений для труб с равномерно-зернистой шероховатостью.

Участок, относящийся к переходной (критической) области, находится между ламинарным и турбулентным течениями (примерно в пределах $Re = 2000 \div 4000$). В этой области коэффициент сопротивления λ возрастает с увеличением числа Re . Вместе с тем этот коэффициент продолжает оставаться одинаковым для различных значений относительной шероховатости.

Участок, для которого кривые сопротивления труб с различной шероховатостью совпадают с кривой Блазиуса для гладких труб, λ определяется по формуле

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}.$$

Закон сопротивления по последней формуле справедлив в том меньшем интервале чисел Рейнольдса, чем больше относительная шероховатость.

Квадратичный режим (или режим шероховатых стенок, режим турбулентной автомодельности) характеризуется тем, что коэффициент сопротивления для каждого значения относительной шероховатости стенки трубы становится постоянным и не зависит от числа Re .

Трубы можно считать гидравлически гладкими, если высота шероховатых выступов меньше толщины вязкого слоя:

$$\bar{\Delta} \leq \bar{\Delta}_{\text{пред}},$$

$$\text{где } \bar{\Delta}_{\text{пред}} = \frac{18 \cdot \lg Re - 16,4}{Re}.$$

Для инженерных расчетов коэффициент гидравлического трения определяют по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\bar{\Delta} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}.$$

Порядок выполнения лабораторной работы

Работа выполняется на модуле 1, установленном на аэродинамическом универсальном стенде (см. рис. 1 и рис. 8). Модуль представляет собой круглую трубу, по длине которой имеются шесть отверстий со штуцерами для определения давлений. Для определения скорости движения воздуха в трубе и определения давлений используется батарейный пьезометр.

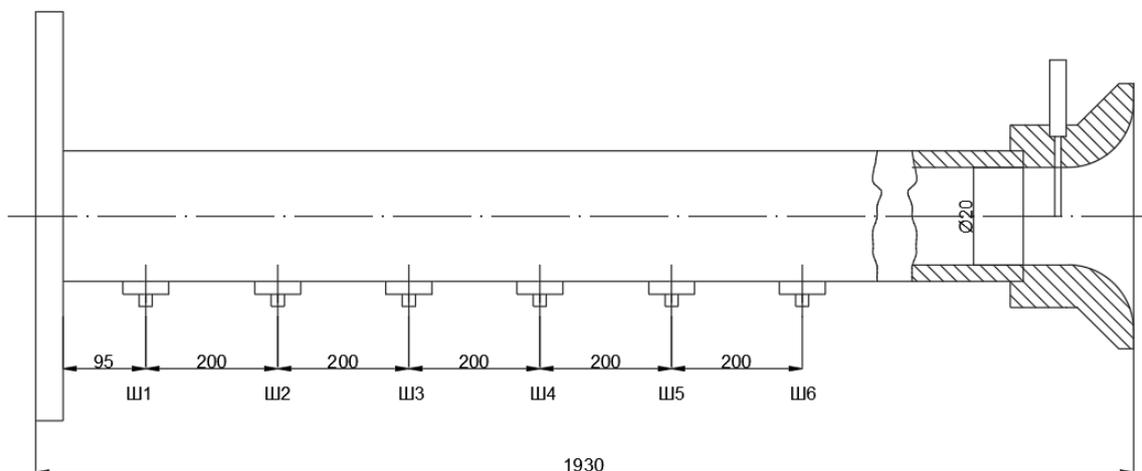


Рис. 8. Схема модуля 1 для определения коэффициента гидравлического трения в круглой трубе

Для выполнения работы необходимо:

1. Подготовить аэродинамический универсальный стенд к работе (см. лабораторную работу № 1).
2. С помощью дроссельной заслонки установить первый замер, заслонку вращать в сторону увеличения расхода воздуха.
3. Определить скорость и температуру воздуха на входе в трубу, расход воздуха, используя термоанемометр (см. лабораторную работу № 2).
4. Снять показания с пьезометров.
5. Показания приборов занести в таблицу.

№ п/п	Единица измерения	Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
1	мм	Диаметр					
2	м/с	Показание термоанемометра, скорость воздуха					

Окончание

№ п/п	Единица измерения	Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
Показания пьезометров для точек замеров							
3	мм вод. ст.	№ 1					
4	мм вод. ст.	№ 2					
5	мм вод. ст.	№ 3					
6	мм вод. ст.	№ 4					
7	мм вод. ст.	№ 5					
8	мм вод. ст.	№ 6					
9	°С	Температура воздуха					
10	кг/м ³	Плотность воздуха					
11	м ² /с	Коэффициент кинематической вязкости воздуха ν					
12	–	Число Рейнольдса Re					
13	–	Теоретический коэффициент гидравлического трения λ					
Потери давления на участке между пьезометрами № 1 и № 6							
14	Па	$\Delta p_{тр1-6}$					
15	–	Экспериментальный коэффициент гидравлического трения λ					
16	%	Относительная погрешность измерений					

Обработка результатов измерений

По результатам измерений определяются:

1. В зависимости от температуры – коэффициент кинематической вязкости воздуха и плотность воздуха

$$\rho = \frac{353}{273+t}$$

2. Число Рейнольдса и режим движения воздуха.
3. Теоретический коэффициент гидравлического трения λ .
4. Потери давления на трение между пьезометрами № 1 и № 6.
5. Экспериментальный коэффициент гидравлического трения λ .
6. Относительная погрешность измерений, процентная разница между экспериментальным и теоретическим коэффициентами гидравлического трения λ .

По итогам расчетов строят графическую зависимость экспериментального коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса.

Контрольные вопросы

1. При каком значении числа Рейнольдса режим воздуха ламинарный?
2. По какой формуле определяется число Рейнольдса?
3. Для чего нужна дроссельная заслонка?
4. Запишите формулу Альтшуля.
5. Как определить относительную шероховатость стенки трубы?
6. Какая труба называется гидравлически гладкой?
7. По какой формуле определяется коэффициент гидравлического трения λ для гидравлически гладких труб?
8. Как определить потери давления экспериментально в лабораторной работе для трубы постоянного диаметра?
9. Какие трубы называются шероховатыми?
10. Какой режим называется квадратичным и чем он характеризуется?

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ КАНАЛЕ

Цель работы: определить коэффициент гидравлического трения экспериментально и сравнить с теоретическим, построить графическую зависимость экспериментального коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса для прямоугольного канала.

Общие сведения

Воздух в системах вентиляции распределяется по сети воздуховодов (каналов), которые должны отвечать определенным требованиям: обеспечивать пропускную способность для прохождения необходимого объема воздуха; иметь минимальное сопротивление и потери; обеспечивать по скоростному режиму нормативные шумовые характеристики; занимать минимальное пространство. При необходимости на воздуховоды наносится тепло-, звуко- или пароизоляция, а также огнезащитные покрытия.

Воздуховоды имеют различные формы поперечного сечения (круглое, прямоугольное и др.). Независимо от материала, из которого изготовлен воздуховод, и конструкции каналов наибольшее значение имеют состояние внутренней поверхности канала, количество изгибов и форма перехода от одного сечения к другому, так как от этого зависит величина сопротивления движению воздуха в каналах. Гладкие поверхности обеспечивают меньшее сопротивление и, кроме того, более легкую очистку от пыли.

Наиболее рациональная форма сечения воздуховода – та, которая при определенной площади имеет минимальный периметр, т. е. круглая, затем – квадратная и прямоугольная. Прямоугольная форма сечения в отношении сопротивления трению наименее выгодна, но более удобна и лучше других форм увязывается со строительными конструкциями.

Для расчета воздуховодов прямоугольного сечения используют таблицы и номограммы, составленные для круглых воздуховодов, но при этом вводят эквивалентный диаметр, при котором потери в круглом и прямоугольном воздуховодах равны.

В практике проектирования получили распространение три вида эквивалентных диаметров: по скорости d_v , расходу d_L и площади поперечного сечения d_f .

Эквивалентный по скорости диаметр d_v можно определить из условия, что удельные потери на трение в круглом R и прямоугольном $R_{\text{пр}}$ воздуховодах равны при $v = v_{\text{пр}}$.

При этом эквивалентный диаметр определяется по формуле

$$d_v = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b},$$

где a и b – размеры сторон воздуховода, канала прямоугольного сечения.

Для того чтобы найти значение $R_{\text{пр}}$ по таблицам или номограммам, составленным для круглых воздуховодов, необходимо определить R при d_v и фактической скорости движения воздуха в прямоугольном воздуховоде.

Эквивалентный диаметр по расходу d_L определяется из условия, что $R = R_{\text{пр}}$ при равенстве расходов в круглом и прямоугольном воздуховодах, при этом d_L определяется по формуле

$$d_L = 1,265 \cdot \sqrt[5]{\frac{a^3 \cdot b^3}{a + b}}.$$

Для того чтобы найти значение $R_{\text{пр}}$ по таблице или номограмме, составленной для круглых воздуховодов, необходимо определить R при d_L и L (фактическом расходе в прямоугольном воздуховоде), не принимая во внимание фактическую скорость движения воздуха.

Для прямоугольного канала, имеющего по всей своей длине одинаковое поперечное сечение и неизменный расход воздуха, уравнение, выражающее линейные потери удельной энергии – давление $\Delta p_{\text{тр}}$, имеет вид

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{l}{d_э} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2},$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (коэффициент сопротивления); l – длина трубы, м; ρ – плотность, кг/м³; v – средняя скорость воздуха, м/с; $d_э$ – эквивалентный диаметр по скорости, м.

Коэффициент гидравлического трения

$$\lambda = \frac{2 \cdot d_э \cdot \Delta p_{\text{тр}}}{l \cdot \rho \cdot v^2}.$$

Зависимость коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса и относительной шероховатости стенки канала дана в лабораторной работе № 3 (см. рис. 7).

Порядок выполнения лабораторной работы

Работа выполняется на модуле 2, который установлен на аэродинамическом универсальном стенде (рис. 9, 10). Модуль представляет собой канал прямоугольного сечения, по длине которого имеются шесть отверстий со штуцерами для определения давлений. Для определения скорости движения воздуха в трубе и определения давлений используется батарейный пьезометр.



Рис. 9. Стенд универсальный лабораторный аэродинамический (ТМЖ-1м) с установленным модулем 2 (канал прямоугольного сечения)

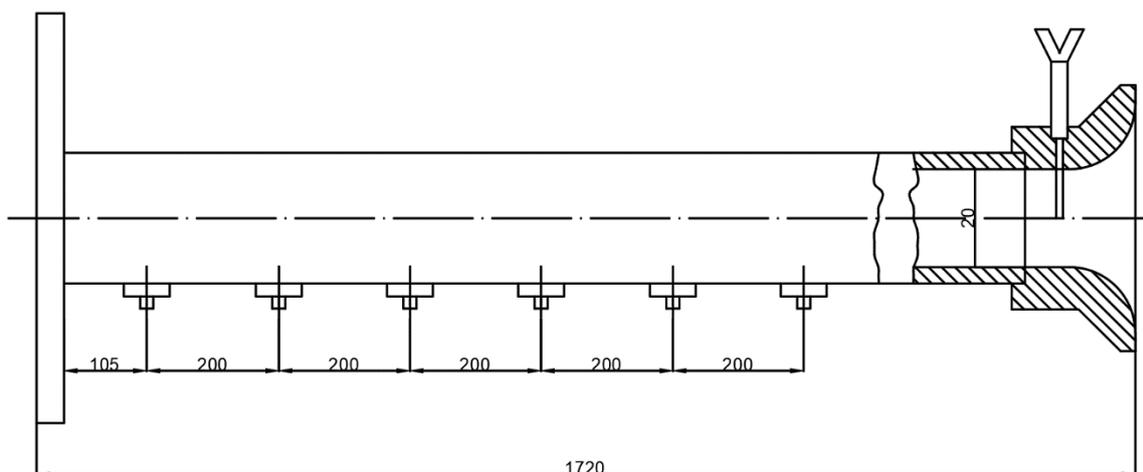


Рис. 10. Схема модуля 2 для определения коэффициента гидравлического трения в прямоугольном канале

Для выполнения работы необходимо:

1. Подготовить аэродинамический универсальный стенд к работе (см. лабораторную работу № 1).
2. С помощью дроссельной заслонки установить первый замер, заслонку вращать в сторону увеличения расхода воздуха.
3. Определить скорость и температуру воздуха на входе в трубу, расход воздуха, используя термоанемометр (см. лабораторную работу № 2).
4. Снять показания с пьезометров.
5. Показания приборов занести в таблицу.

№ п/п	Единица измерения	Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
1	мм	Размеры канала прямоугольного сечения					
2	мм	Эквивалентный диаметр					
Показания пьезометров для точек замеров							
3	мм вод. ст.	№ 1					
4	мм вод. ст.	№ 2					
5	мм вод. ст.	№ 3					
6	мм вод. ст.	№ 4					
7	мм вод. ст.	№ 5					
8	мм вод. ст.	№ 6					

№ п/п	Единица измерения	Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
9	°С	Температура воздуха					
10	кг/м ³	Плотность воздуха					
11	м ² /с	Коэффициент кинематической вязкости					
12	м ³ /с	Расход воздуха					
13	м/с	Скорость воздуха в трубе					
14	–	Число Рейнольдса Re					
15	–	Теоретический коэффициент гидравлического трения λ					
16	Па	Потери давления на участке между пьезометрами № 1 и № 6 $\Delta p_{тр 1-6}$					
17	–	Экспериментальный коэффициент гидравлического трения					
18	%	Относительная погрешность измерений					

Обработка результатов измерений

По результатам измерений определяются:

1. В зависимости от температуры – коэффициент кинематической вязкости воздуха и плотность воздуха

$$\rho = \frac{353}{273+t}$$

2. Число Рейнольдса и режим движения воздуха.

3. Эквивалентный диаметр

$$d_v = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a+b}$$

4. Теоретический коэффициент гидравлического трения λ .

5. Потери давления на трение между пьезометрами № 1 и № 6 как разность показания пьезометров.

6. Экспериментальный коэффициент гидравлического трения λ .

7. Относительная погрешность измерений, процентная разница между экспериментальным и теоретическим коэффициентами гидравлического трения λ .

По итогам расчетов строят графическую зависимость экспериментального коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса.

Контрольные вопросы

1. Какая форма сечения канала является наиболее рациональной по аэродинамике?

2. Какую форму поперечного сечения имеют каналы и воздуховоды?

3. Как определить потери на трение по снятым показаниям?

4. Как изменяется коэффициент λ при увеличении расхода воздуха?

5. Каким прибором измеряется скорость движения воздуха?

6. По какой формуле рассчитывается эквивалентный диаметр по скорости?

7. По какой формуле рассчитывается эквивалентный диаметр по расходу?

8. Для чего рассчитывают эквивалентный диаметр?

9. Как определить относительную погрешность измерений?

10. От каких величин зависит коэффициент кинематической вязкости?

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МЕСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ВНЕЗАПНОМ РАСШИРЕНИИ КАНАЛА

Цель работы: определить коэффициент местного сопротивления при внезапном расширении канала экспериментально и сравнить с теоретическим.

Общие сведения

В местах поворота воздуховода, при делении и слиянии потоков в тройниках, при изменении размеров воздухопроводов (внезапное расширение, расширение в диффузоре, внезапное сужение, сужение в конфузоре), при входе в воздуховод или канал и выходе из них, а также в местах установки регулирующих устройств (дросселей, шиберов, диафрагм) наблюдается падение давления в потоке перемещающегося воздуха.

В указанных местах происходит перестройка поля скоростей воздуха в воздуховоде и образование вихревых зон у стенок воздуховода, что сопровождается потерей энергии потока. Установившееся поле скоростей начинает нарушаться на некотором расстоянии до местного сопротивления, а выравнивание потока происходит на некотором расстоянии от него. На всем участке возникают потери на вязкое трение и увеличиваются потери на трение о стенки.

Потери давления в местном сопротивлении $\Delta p_{м.с}$ пропорциональны динамическому давлению воздуха в воздуховоде и определяются по формуле Вейсбаха:

$$\Delta p_{м.с} = \xi \frac{\rho \cdot v^2}{2},$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления; ρ – плотность воздуха, кг/м³; v – скорость в сечении перед местным сопротивлением или после него.

В случае внезапного расширения канала потери давления выражаются формулой

$$\Delta p_{м.с} = \frac{(v_1 - v_2)^2 \cdot \rho}{2},$$

где v_1 – скорость до внезапного расширения; v_2 – скорость после внезапного расширения.

Исходя из этой формулы коэффициент местного сопротивления, отнесенный к скорости v_1 , определяется как

$$\xi = \left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right)^2,$$

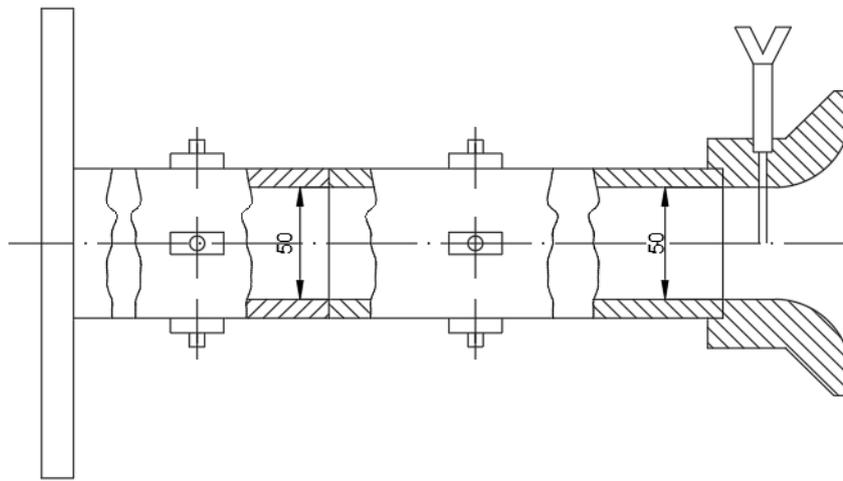
где F_1 – площадь канала до внезапного расширения; F_2 – площадь канала после внезапного расширения.

Порядок выполнения лабораторной работы

Работа выполняется на модуле 3, который установлен на аэродинамическом универсальном стенде (рис. 11, 12). Модуль представляет собой канал прямоугольного сечения, по длине которого имеются шесть отверстий со штуцерами для определения давлений. Размеры канала до внезапного расширения – 50×20 мм, после внезапного расширения – 50×70 мм.



Рис. 11. Модуль 3 (общий вид)



Вид сверху

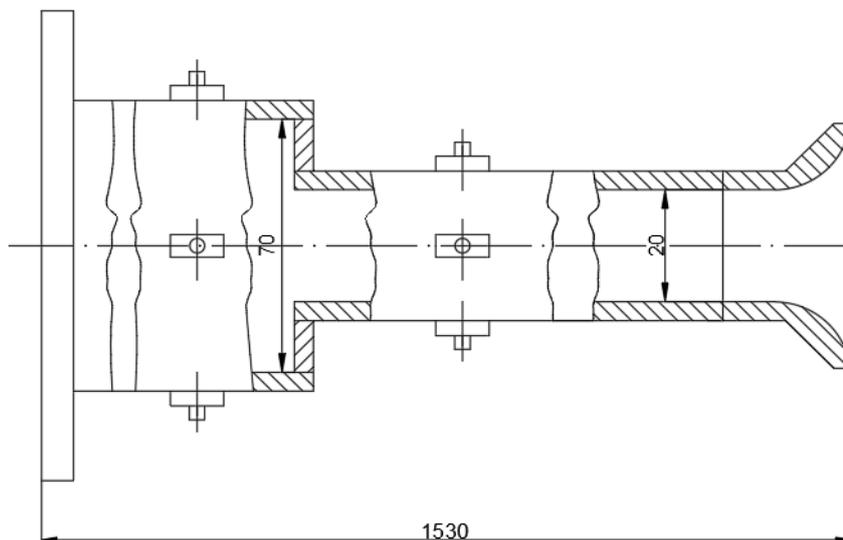


Рис. 12. Схема модуля 3 для определения коэффициента местного сопротивления при внезапном расширении канала

Для выполнения работы необходимо:

1. Подготовить аэродинамический универсальный стенд к работе (см. лабораторную работу № 1).
2. С помощью дроссельной заслонки установить первый замер, заслонку вращать в сторону увеличения расхода воздуха.
3. Определить скорость и температуру воздуха на входе в трубу, расход воздуха, используя термоанемометр (см. лабораторную работу № 2).
4. Снять показания с пьезометров до и после внезапного расширения.
5. Показания приборов занести в таблицу.

№ п/п	Единица измерения	Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
1	мм	Размеры прямоугольного канала до местного сопротивления					
	м ²	Площадь сечения канала до местного сопротивления					
2	мм	Эквивалентный диаметр					
3	мм	Размеры прямоугольного канала после местного сопротивления					
4	м ²	Площадь сечения канала после местного сопротивления					
5	мм	Эквивалентный диаметр					
6	м ³ /с	Расход воздуха					
7	м/с	Скорость воздуха до местного сопротивления					
8	м/с	Скорость воздуха после местного сопротивления					
Показания пьезометров для точек замеров							
9	мм вод. ст.	№ 1					
10	мм вод. ст.	№ 2					
11	°С	Температура воздуха					
12	Па	Давление до местного сопротивления					
13	Па	Давление после местного сопротивления					
14	кг/м ³	Плотность воздуха					
15	м ² /с	Коэффициент кинематической вязкости					

№ п/п	Единица измерения	Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
16	–	Число Рейнольдса Re					
17	Па	Потери давления в местном сопротивлении					
18	–	Теоретический коэффициент местного сопротивления ξ					
19	–	Экспериментальный коэффициент гидравлического трения ξ					
20	%	Относительная погрешность измерений					

Обработка результатов измерений

По результатам измерений определяются:

1. В зависимости от температуры – коэффициент кинематической вязкости воздуха и плотность воздуха

$$\rho = \frac{353}{273+t}.$$

2. Число Рейнольдса и режим движения воздуха.

3. Эквивалентный диаметр

$$d_v = \frac{2a \cdot b}{a+b}.$$

4. Потери давления

$$\Delta p_{мс} = \left(\frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + \frac{p_a - p_2}{\rho \cdot g} - \frac{p_a - p_1}{\rho \cdot g} \right) \rho g,$$

где v_1 – скорость до местного сопротивления; v_2 – скорость после местного сопротивления; p_a – атмосферное давление; p_1 – давление до местного сопротивления; p_2 – давление после местного сопротивления.

5. Теоретический коэффициент местного сопротивления

$$\xi = \left(1 - \frac{F_1}{F_2} \right)^2,$$

где F – площадь сечения канала.

6. Экспериментальный коэффициент местного сопротивления ξ

$$\xi = \frac{2\Delta p_{\text{м.с}}}{\rho \cdot v^2}.$$

7. Относительная погрешность измерений, процентная разница между экспериментальным и теоретическим коэффициентами местного сопротивления ξ .

По итогам расчетов строят графическую зависимость экспериментального коэффициента местного сопротивления от числа Рейнольдса.

Контрольные вопросы

1. По какой формуле определяются потери давления в местном сопротивлении?

2. Как опытным путем определить потери давления? Какие замеры нужно снять?

3. По какому давлению – абсолютному, вакуумметрическому или избыточному – определяются экспериментальные потери давления?

4. По какой формуле рассчитывается теоретический коэффициент местного сопротивления?

5. Как рассчитать скорость воздуха в канале?

6. Может ли коэффициент местного сопротивления ξ быть отрицательным?

7. В каком сечении – до или после местного сопротивления – в определении коэффициента местного сопротивления по формуле Вейсбаха принимается скорость?

8. За счет чего происходят потери давления в местном сопротивлении?

9. Какой участок трубы (канала) называется местным сопротивлением?

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МЕСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ВНЕЗАПНОМ СУЖЕНИИ КАНАЛА

Цель работы: определить коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении канала экспериментально и сравнить с теоретическим (рис. 13).

Общие сведения

При внезапном сужении потока, как и при внезапном расширении, создаются пространства с завихрениями воздуха, которые образуются в пристеночном пространстве широкой части трубы. Такие же завихрения возникают в начале узкой части трубы за счет того, что при входе в нее (узкую часть) воздух продолжает некоторое время двигаться по инерции в направлении центра трубы и основное русло потока еще некоторое время продолжает сужаться. Следовательно, при внезапном сужении потока возникают как бы два подряд идущих местных сопротивления. С учетом этого потери давления при внезапном сужении канала примут вид

$$\Delta p_{\text{м.с}} = \xi_{\text{в.с}} \frac{\rho \cdot v_2^2}{2},$$

где $\xi_{\text{в.с}}$ – коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении канала; ρ – плотность воздуха; v_2 – скорость после местного сопротивления.

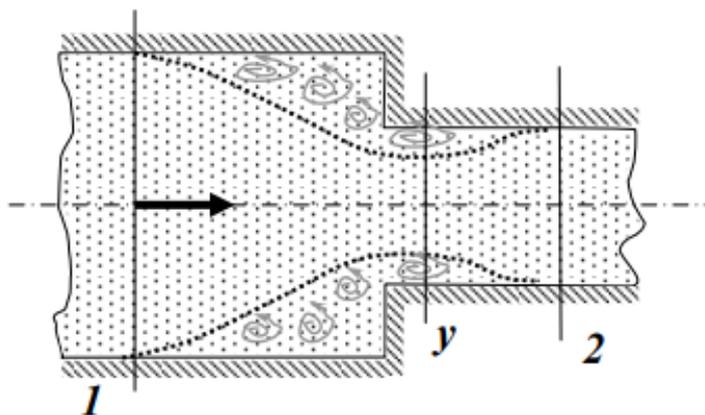


Рис. 13. Внезапное сужение канала

Коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении находят из выражения

$$\xi_{\text{в.с}} = 0,5 \left(1 - \frac{F_2}{F_1} \right),$$

где F_1 – площадь сечения канала до местного сопротивления; F_2 – площадь сечения трубы (канала) после местного сопротивления.

Потери давления при внезапном сужении, отнесенные ко второй скорости (v_2^2), определяются по формуле

$$\Delta p_{в.с.} = 0,5 \left(1 - \frac{F_2}{F_1}\right) \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}.$$

Порядок выполнения лабораторной работы

Работа выполняется на модуле 3, который установлен на аэродинамическом универсальном стенде (см. рис. 11). Модуль представляет собой канал прямоугольного сечения, по длине которого имеются шесть отверстий со штуцерами для определения давлений. Размеры канала: до внезапного сужения – 50×70 мм, после внезапного сужения – 50×20 мм.

Для выполнения работы необходимо:

1. Подготовить аэродинамический универсальный стенд к работе (см. лабораторную работу № 1).

2. С помощью дроссельной заслонки установить первый замер, заслонку вращать в сторону увеличения расхода воздуха.

3. Определить скорость и температуру воздуха на входе в трубу, расход воздуха, используя термоанемометр (см. лабораторную работу № 2).

4. Снять показания с пьезометров до и после внезапного сужения.

5. Показания приборов занести в таблицу.

№ п/п	Единица измерения	Параметры	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
1	мм	Размеры прямоугольного канала до местного сопротивления					
2	м ²	Площадь сечения канала до местного сопротивления					
3	мм	Эквивалентный диаметр					
4	мм	Размеры прямоугольного канала после местного сопротивления					

Окончание

№ п/п	Единица измерения	Параметры	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
5	м ²	Площадь сечения канала после местного сопротивления					
6	мм	Эквивалентный диаметр					
7	м ³ /с	Расход воздуха					
8	м/с	Скорость воздуха до местного сопротивления					
9	м/с	Скорость воздуха после местного сопротивления					
Показания пьезометров для точек замеров							
10	мм вод. ст.	№ 1					
11	мм вод. ст.	№ 2					
12	Па	Давление до местного сопротивления					
13	Па	Давление после местного сопротивления					
14	°С	Температура воздуха					
15	кг/м ³	Плотность воздуха					
16	м ² /с	Коэффициент кинематической вязкости					
17	–	Число Рейнольдса Re					
18	Па	Потери давления в местном сопротивлении					
19	–	Теоретический коэффициент местного сопротивления ξ					
20	–	Экспериментальный коэффициент гидравлического трения ξ					
21	%	Относительная погрешность измерений					

Обработка результатов измерений

По результатам измерений определяются:

1. В зависимости от температуры – коэффициент кинематической вязкости воздуха и плотность воздуха

$$\rho = \frac{353}{273+t}.$$

2. Число Рейнольдса и режим движения воздуха.

3. Эквивалентный диаметр по формуле

$$d_v = \frac{2a \cdot b}{a+b}.$$

4. Потери давления

$$\Delta p_{\text{м.с}} = \left(\frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + \frac{p_a - p_2}{\rho \cdot g} - \frac{p_a - p_1}{\rho \cdot g} \right) \rho g,$$

где v_1 – скорость до местного сопротивления; v_2 – скорость после местного сопротивления; p_a – атмосферное давление; p_1 – давление до местного сопротивления; p_2 – давление после местного сопротивления.

5. Теоретический коэффициент местного сопротивления (табл. 7) в зависимости от соотношения $n = \frac{F_2}{F_1}$ и числа Рейнольдса.

Таблица 7

$\frac{F_2}{F_1}$	Re													
	10	20	30	40	50	10 ²	2·10 ²	5·10 ²	10 ³	2·10 ³	4·10 ³	5·10 ³	10 ⁴	> 10 ⁴
0.1	5.00	3.20	2.40	2.0	1.80	1.30	1.04	0.82	0.64	0.50	0.80	0.75	0.50	0.45
0.2	5.00	3.10	2.30	1.84	1.62	1.20	0.95	0.70	0.50	0.40	0.60	0.60	0.40	0.40
0.3	5.00	2.95	2.15	1.70	1.50	1.10	0.85	0.60	0.44	0.30	0.55	0.55	0.35	0.35
0.4	5.00	2.80	2.00	1.60	1.40	1.00	0.78	0.50	0.35	0.25	0.45	0.50	0.30	0.30
0.5	5.00	2.70	1.80	1.46	1.30	0.90	0.65	0.42	0.30	0.20	0.40	0.42	0.25	0.25
0.6	5.00	2.60	1.70	1.35	1.20	0.80	0.56	0.35	0.24	0.15	0.35	0.35	0.20	0.20

6. Экспериментальный коэффициент местного сопротивления

$$\xi = \frac{2\Delta p_{\text{м.с}}}{\rho \cdot v_2^2}.$$

7. Относительная погрешность измерений, процентная разница между экспериментальным и теоретическим коэффициентами местного сопротивления ξ .

По итогам расчетов строят графическую зависимость экспериментального коэффициента местного сопротивления от числа Рейнольдса.

Контрольные вопросы

1. Какова плотность воздуха при температуре воздуха 25 °С?
2. Каков эквивалентный диаметр прямоугольного канала, если размеры его сторон: $a = 300$ мм, $b = 400$ мм?
3. По какой формуле рассчитывается коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении?
4. По какой скорости рассчитываются потери давления при внезапном сужении – до или после местного сопротивления?
5. Верно ли, что при прохождении внезапного сужения потока возникают как бы два подряд идущих местных сопротивления?

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В ДИФFUЗОРЕ

Цель работы: определить потери давления в диффузоре экспериментальным и теоретическим путем.

Общие сведения

Постепенное расширение трубы называется диффузором (рис. 14).

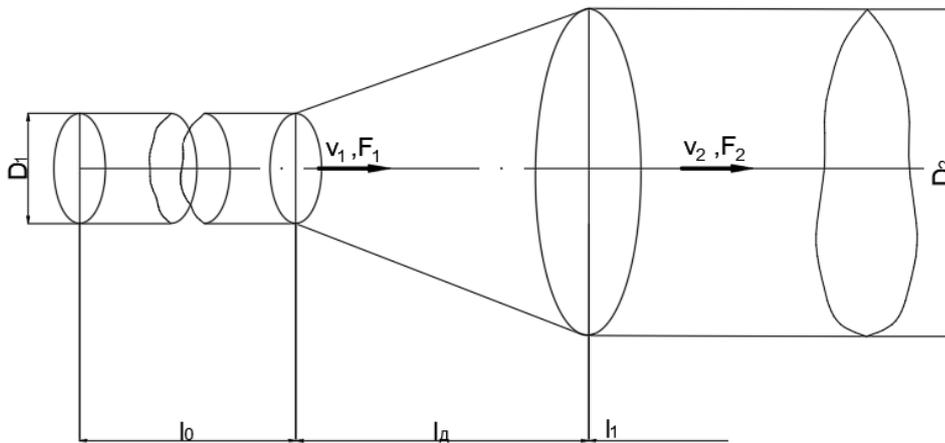


Рис. 14. Схема диффузора

Диффузор в гидроаэромеханике – это участок проточного канала (трубопровода), в котором происходит торможение потока жидкости или газа. Поперечное сечение диффузора может быть круглым, прямоугольным, кольцевым, эллиптическим, а также несимметричным. По своему назначению и геометрической форме диффузор – устройство, обратное соплу. Вследствие падения средней скорости давление в направлении течения растет, при этом кинетическая энергия потока частично преобразуется в потенциальную. В отличие от сопла преобразование энергии в диффузоре сопровождается заметным возрастанием энтропии и уменьшением полного давления. Разность полных давлений на входе и выходе диффузора характеризует его гидравлическое сопротивление и называется потерями. Потерянная часть кинетической энергии потока затрачивается на образование вихрей, работу против сил трения и необратимо переходит в теплоту. Движение жидкости (газа) в направлении роста давления в потоке, т. е. существование положительного градиента давления в направлении течения, – основное отличительное свойство диффузора.

Диффузор устанавливают для уменьшения потерь, возникающих при переходе от меньшего к большему диаметру трубы:

а) при $0 < \alpha < 8^\circ - 10^\circ$ на всем протяжении диффузора наблюдается безотрывное движение жидкости;

б) при $8^\circ - 10^\circ < \alpha < 50^\circ - 60^\circ$ получается отрыв транзитной струи, с увеличением угла точка начала отрыва перемещается к меньшему сечению трубы;

в) при $50^\circ - 60^\circ < \alpha$ отрыв транзитной струи от стенок начинается сразу за меньшим сечением трубы; с увеличением угла точка начала отрыва перемещается к меньшему сечению трубы.

Прямоугольные диффузоры (с расширением в одной плоскости) имеют оптимальный угол больше, чем круглые и квадратные, – около $10^\circ - 12^\circ$ (плоские диффузоры).

При необходимости перехода на угол $\alpha > 15^\circ - 25^\circ$ применяют специальный диффузор, обеспечивающий постоянный градиент давления вдоль оси $dp/dx = \text{const}$ и равномерное нарастание давления; при прямой образующей градиент давления убывает вдоль диффузора.

Уменьшение потери энергии в диффузорах будет тем больше, чем больше угол α , и при углах $40^\circ - 60^\circ$ доходит до 40 % от потерь в обычных диффузорах. Кроме того, поток в криволинейном диффузоре отличается большей устойчивостью, т. е. в нем меньше вероятность того, что возникнет отрыв потока.

Движение воздуха в диффузоре сопровождается уменьшением скорости и повышением давления. Частицы воздуха движутся вперед, в сторону более высокого давления, по инерции за счет своей кинетической энергии, которая уменьшается по направлению движения. Кроме того, за счет расширения трубы воздух движется не только вдоль оси потока, но и в направлении от оси к стенкам. В каком-то сечении инерция воздуха уменьшается до такой степени, что ее не хватает для преодоления повышающегося давления. Тогда воздух останавливается или даже начинает двигаться в обратном направлении. В результате возникают вихревые потоки и потоки, отрывающиеся от стенки. Эти явления зависят от скорости и интенсивности расширения потока воздуха. Кроме того, в диффузоре происходят обычные потери на трение, подобные потерям по длине в трубах постоянного сечения.

Таким образом, потери энергии в диффузоре $\Delta h_{м.с}$ складываются из потерь на трение по длине и потерь на вихреобразование за счет расширения:

$$\Delta h_{м.с} = \Delta h_{тр} + \Delta h_{расш},$$

где $\Delta h_{тр}$ – потери напора на трение; $\Delta h_{расш}$ – потери напора на расширение.

Потери напора в диффузоре определяются по формуле

$$\Delta h_{м.с} = \left[\frac{\lambda}{8 \cdot \sin \alpha} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) + k \left(1 - \frac{1}{n} \right)^2 \right] \frac{v_1^2}{2 \cdot g},$$

где λ – коэффициент гидравлического трения; α – угол расширения диффузора; n – степень расширения диффузора, $n = \frac{F_2}{F_1}$, где F_1 – площадь сечения трубы на входе в диффузор, F_2 – площадь сечения на выходе из диффузора; k – поправочный коэффициент, численное значение которого можно определить по формуле Идельчика: $k = 3,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sqrt[4]{\operatorname{tg} \alpha}$; v_1 – скорость на входе в диффузор.

Потери давления в диффузоре определяются по формуле

$$\Delta p_{м.с} = \left[\frac{\lambda}{8 \cdot \sin \alpha} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) + k \left(1 - \frac{1}{n} \right)^2 \right] \frac{v_1^2 \cdot \rho}{2}.$$

Порядок выполнения лабораторной работы

Работа выполняется на модуле 3, который установлен на аэродинамическом универсальном стенде (рис. 15) и представляет собой трубу круглого сечения с различными диаметрами входного и выходного участков. Между входным и выходным участками установлены исследуемые диффузоры с углами конуса 80° , 200° , 600° . Схема модуля 3 представлена на рис. 16.

Для выполнения работы необходимо:

1. Подготовить аэродинамический универсальный стенд к работе (см. лабораторную работу № 1).
2. С помощью дроссельной заслонки установить первый замер, заслонку вращать в сторону увеличения расхода воздуха.
3. Определить скорость и температуру воздуха на входе в трубу, расход воздуха, используя термоанемометр (см. лабораторную работу № 2).

4. Снять показания с пьезометров до и после внезапного расширения.
5. Замерить угол расширения диффузора.
6. Показания приборов занести в таблицу.

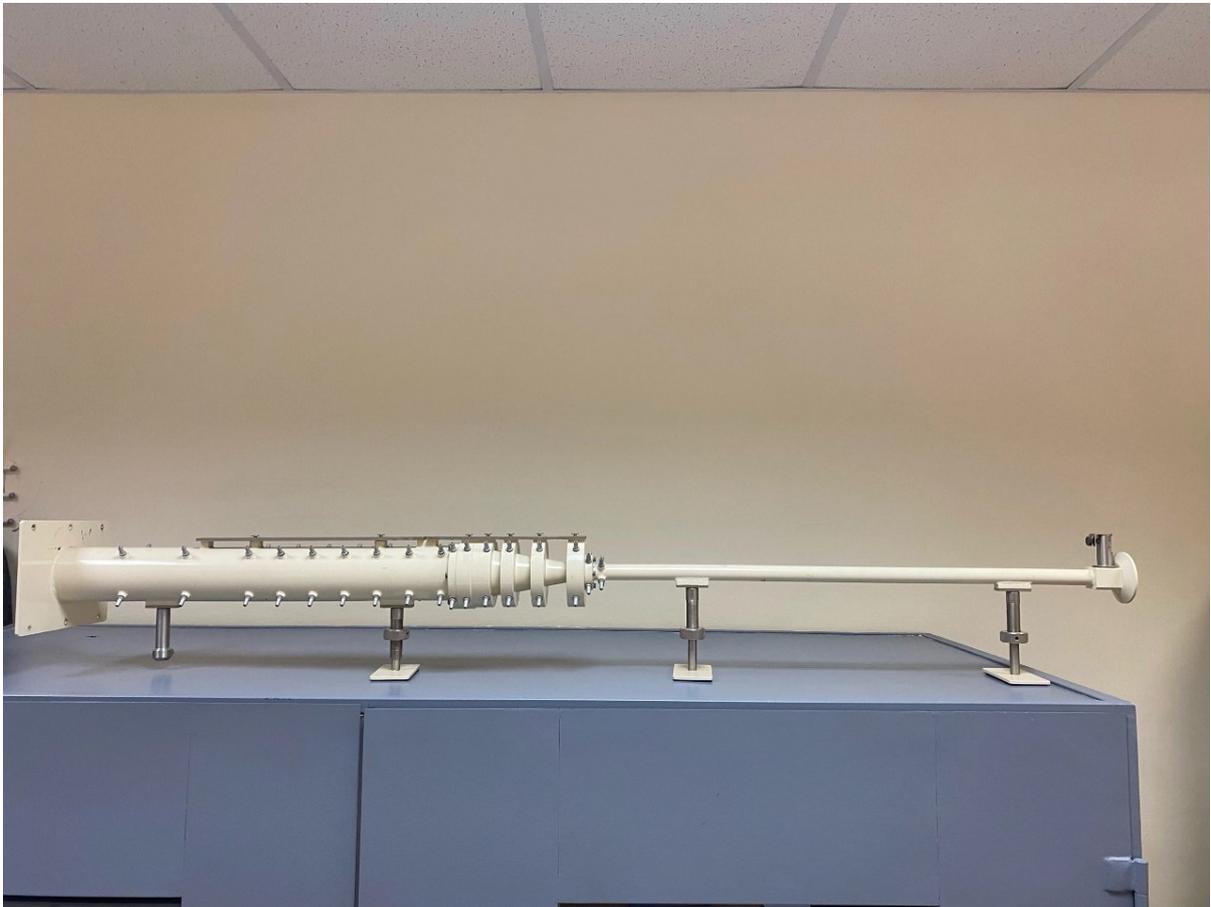


Рис. 15. Модуль 3

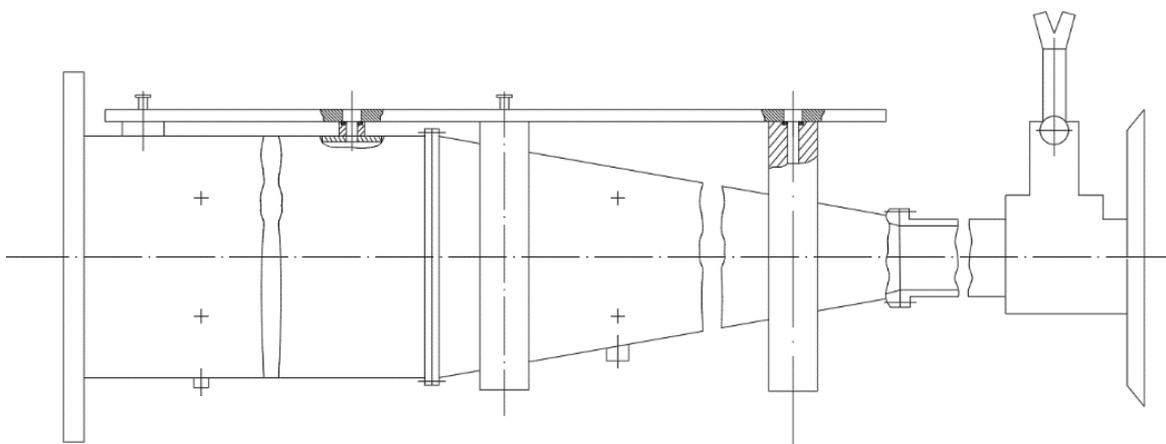


Рис. 16. Схема модуля 3

№ п/п	Единица измерения	Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
1	мм	Размеры трубы на входе в диффузор					
2	м ²	Площадь сечения трубы до местного сопротивления					
3	мм	Угол расширения диффузора					
4	мм	Размеры трубы после диффузора					
5	м ²	Площадь сечения трубы после местного сопротивления					
6	–	Поправочный коэффициент					
7	м ³ /с	Расход воздуха					
8	м/с	Скорость воздуха до местного сопротивления					
9	м/с	Скорость воздуха после местного сопротивления					
Показания пьезометров для точек замеров							
10	мм вод. ст.	№ 1					
11	мм вод. ст.	№ 2					
12	°С	Температура воздуха					
13	Па	Давление до местного сопротивления					
14	Па	Давление после местного сопротивления					
15	кг/м ³	Плотность воздуха					
16	м ² /с	Коэффициент кинематической вязкости					
17	–	Число Рейнольдса <i>Re</i>					
18	м	Длина диффузора					
19	–	Коэффициент гидравлического трения λ					

№ п/п	Единица измерения	Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
20	Па	Теоретические потери давления в местном сопротивлении					
21	Па	Экспериментальные потери давления в местном сопротивлении					
22	%	Относительная погрешность измерений					

Обработка результатов измерений

По результатам измерений определяются:

1. В зависимости от температуры – коэффициент кинематической вязкости воздуха и плотность воздуха

$$\rho = \frac{353}{273+t}$$

2. Число Рейнольдса и режим движения воздуха:

$$Re = \frac{v_1 \cdot d_1}{\nu}$$

где v_1 – скорость до местного сопротивления; d_1 – диаметр трубы на входе в диффузор; ν – коэффициент кинематической вязкости.

3. В зависимости от режима движения воздуха – коэффициент гидравлического трения λ (см. лабораторную работу № 3).

4. Поправочный коэффициент

$$k = 3,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sqrt[4]{\operatorname{tg} \alpha}$$

5. Степень расширения диффузора.

6. Теоретические потери давления в диффузоре

$$\Delta p_{\text{м.с}} = \left[\frac{\lambda}{8 \cdot \sin \alpha} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) + k \left(1 - \frac{1}{n} \right)^2 \right] \frac{v_1^2 \cdot \rho}{2}$$

7. Экспериментальные потери давления в диффузоре

$$\Delta p_{\text{м.с}} = \left(\frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_a - p_2}{\rho \cdot g} - \frac{p_a - p_1}{\rho \cdot g} \right) \rho g$$

8. Относительная погрешность измерений, процентная разница между экспериментальными и теоретическими значениями потерь давления.

Контрольные вопросы

1. Какое местное сопротивление называется диффузором?
2. Как изменяются скорость и давление при движении воздуха в диффузоре?
3. Возникают ли потери на трение при движении воздуха в диффузоре?
4. По какой формуле рассчитываются потери напора в диффузоре?
5. Как определить степень расширения диффузора?
6. По какой скорости рассчитываются потери давления в диффузоре – до или после диффузора?
7. В каких единицах измеряются потери напора?

Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МЕСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНФУЗОРА

Цель работы: определить коэффициент местного сопротивления для конфузора экспериментальным и теоретическим путем.

Общие сведения

Постепенное сужение потока представляет собой коническую сходящуюся трубку – конфузор (рис. 17). Течение воздуха в конфузоре сопровождается постепенным увеличением скорости и одновременным снижением давления. По этой причине условия для вихреобразования на конической поверхности отсутствуют. Потери давления в местном сопротивлении происходят только за счет трения. Вихреобразование может возникать только в узкой части конфузора. Его природа аналогична природе подобного вихря при внезапном сужении потока, однако величина значительно меньше.

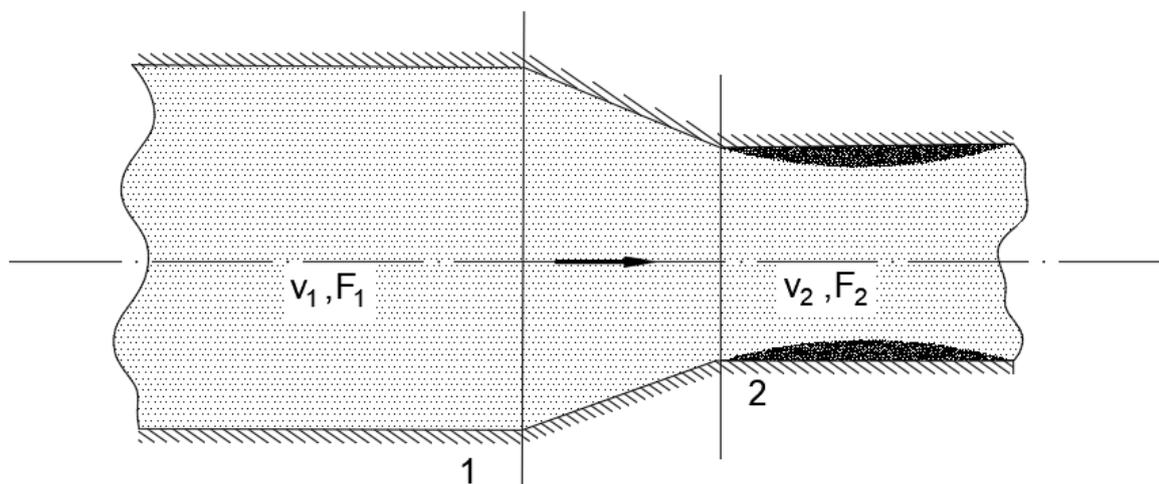


Рис. 17. Схема конфузора

В большинстве работ указывается, что эта величина столь незначительна по сравнению с потерями на трение в конической части конфузора, что ею можно пренебречь.

Коэффициент местного сопротивления конфузора зависит от угла сужения α и степени сужения, определяемой по формуле

$$n = \frac{F_2}{F_1},$$

где F_1, F_2 – площади сечения конфузора до и после сужения.

При малых числах Рейнольдса указанный коэффициент также зависит и от числа Рейнольдса. При достаточно больших углах ($\alpha > 10^\circ$) и степенях сужения ($n < 0,3$) после перехода от сужающегося участка к прямой части трубы поток отрывается от стенок, что и обуславливает в основном местные потери полного давления.

Чем больше α и меньше n , тем значительнее отрыв потока и больше сопротивление конфузора. Максимум сопротивления получается при $\alpha = 180^\circ$, когда происходит внезапное сужение сечения. По длине сужающегося участка возникают потери по длине.

Для инженерных расчетов общий коэффициент сопротивления конфузора

$$\zeta = \frac{2\Delta p}{\rho \cdot v_2^2} = \zeta_M + \zeta_{тр},$$

где ζ_M – коэффициент местного сопротивления; $\zeta_{тр}$ – коэффициент гидравлического трения.

Коэффициент местного сопротивления конфузора определяют по формуле

$$\zeta_M = (-0,0125 \cdot n^4 + 0,0224 \cdot n^3 - 0,00723 \cdot n^2 + 0,0044 \cdot n - 0,00745) \cdot (\alpha_p^3 - 2 \cdot \pi \cdot \alpha_p^2 - 10 \cdot \alpha_p),$$

где $\alpha_p = 0,01745 \cdot \alpha$, рад (α – в градусах).

Коэффициент сопротивления трения $\zeta_{тр}$ конфузора определяется по формуле

$$\zeta_{тр} = \frac{\lambda}{8 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n_1^2}\right),$$

$$n_1 = \frac{F_1}{F_2},$$

где F_1 , F_2 – площади сечений конфузора; λ – в зависимости от Re .

Число Рейнольдса определяется по формуле

$$Re = \frac{v_2 \cdot d_2}{\nu},$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости.

В табл. 8 и на рис. 18 приведены значения относительной шероховатости стенок воздуховода ($\bar{\Delta}$) и числа Re .

Таблица 8

Значения λ

Δ	$Re \cdot 10^{-3}$									
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	
0,025	0,065	0,061	0,058	0,055	0,053	0,051	0,050	0,049	0,051	
0,017	—	—	0,055	0,053	0,050	0,048	0,046	0,043	0,046	
0,0125	—	—	—	0,050	0,047	0,046	0,044	0,041	0,043	
0,0100	—	—	—	—	—	0,043	0,041	0,039	0,040	
0,0080	—	—	—	—	—	—	—	0,036	0,037	
0,0070	—	—	—	—	—	—	—	0,032	0,033	
0,0060	—	—	—	—	—	—	—	—	0,033	
0,0050	—	—	—	—	—	—	—	—	0,033	
0,0040	—	—	—	—	—	—	—	—	0,032	
0,0030	—	—	—	—	—	—	—	—	0,032	
0,0024	—	—	—	—	—	—	—	—	0,032	
0,0020	—	—	—	—	—	—	—	—	0,032	

Δ	$Re \cdot 10^{-3}$									
	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
0,025	0,054	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,060	0,060	0,060
0,017	0,049	0,051	0,053	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054
0,0125	0,045	0,047	0,049	0,050	0,050	0,050	0,051	0,051	0,051	0,051
0,0100	0,042	0,044	0,046	0,047	0,048	0,048	0,049	0,049	0,050	0,050
0,0080	0,039	0,041	0,043	0,045	0,046	0,046	0,047	0,047	0,048	0,048
0,0070	0,035	0,038	0,041	0,043	0,045	0,045	0,045	0,046	0,046	0,046
0,0060	0,035	0,038	0,041	0,043	0,044	0,044	0,044	0,045	0,045	0,045
0,0050	0,034	0,037	0,040	0,042	0,043	0,043	0,043	0,044	0,044	0,044
0,0040	0,034	0,036	0,039	0,042	0,042	0,043	0,043	0,044	0,044	0,044
0,0030	0,033	0,035	0,038	0,041	0,042	0,042	0,043	0,043	0,043	0,043
0,0024	0,033	0,035	0,037	0,040	0,041	0,041	0,042	0,043	0,043	0,043
0,0020	0,033	0,034	0,037	0,039	0,041	0,040	0,041	0,042	0,042	0,042

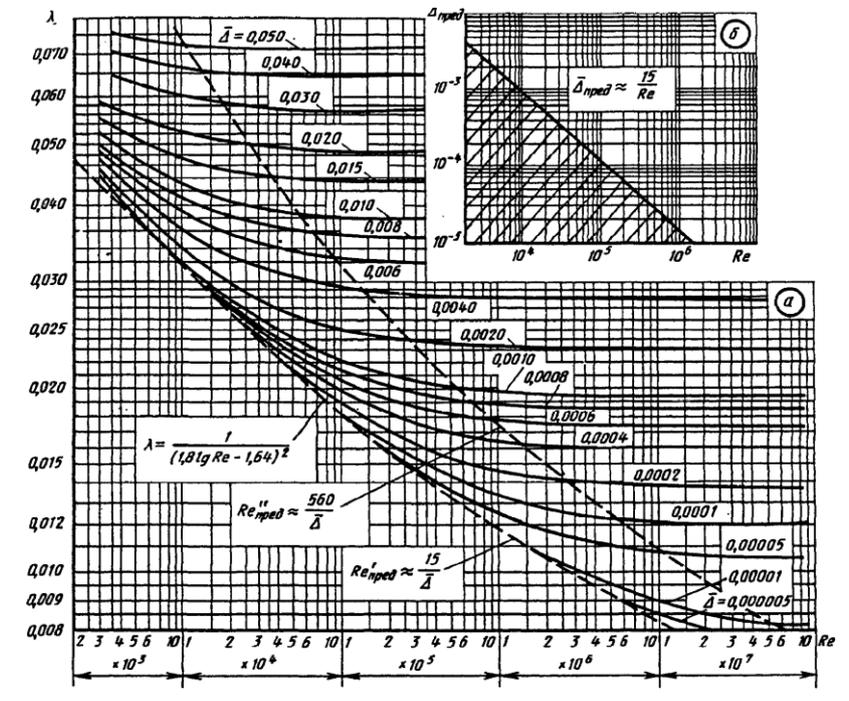


Рис.18. Коэффициент сопротивления трения

Порядок выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа выполняется на стенде (рис. 19). По ходу движения воздуха на стенде расположены два конфузора: конфузор 1 – между точками 11 и 10 (длина участка 300 мм, $d_1 = 315$ мм, $d_2 = 200$ мм); конфузор 2 – между точками 9 и 8 (длина участка 300 мм, $d_1 = 200$ мм, $d_2 = 100$ мм).

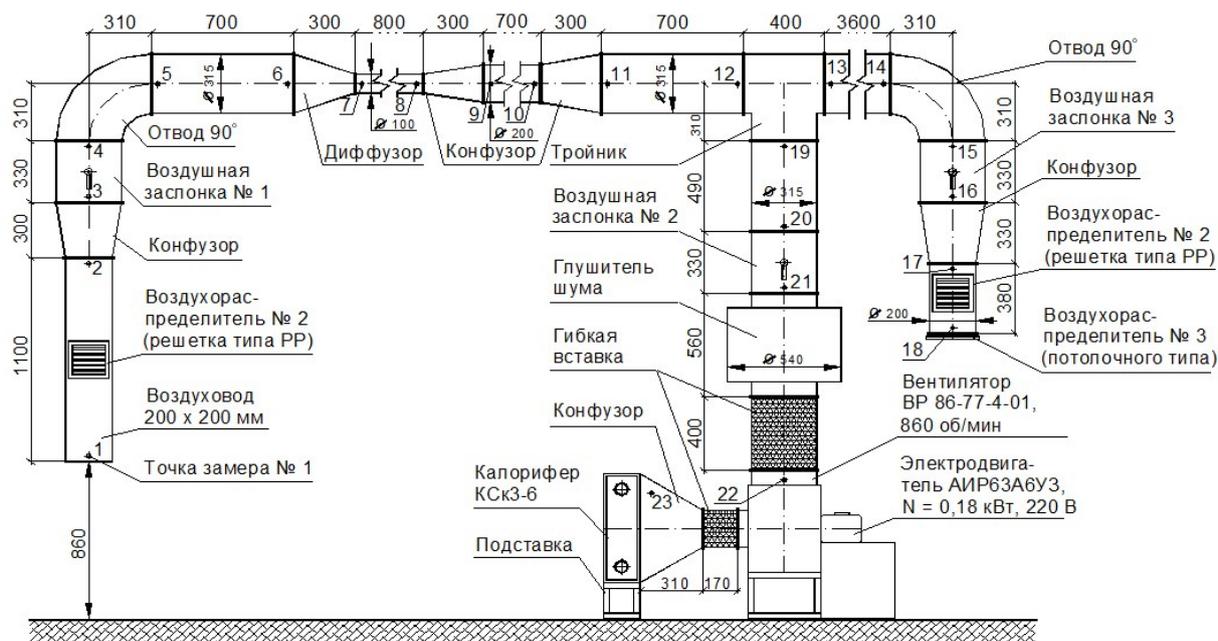


Рис. 19. Схема лабораторного стенда

Для выполнения работы необходимо:

1. Включить вентилятор и с помощью воздушной заслонки установить начальный расход воздуха. Все эксперименты проводят для пяти режимов, которые устанавливаются путем изменения разной степени перекрытия воздушного потока заслонкой № 2.
2. Измерить дифференциальным манометром ДМЦ-01 статическое и динамическое давление в точках 10 и 11, 8 и 9 (p_{c10} , p_{c11} , $p_{д10}$, $p_{д11}$, p_{c9} , p_{c8} , $p_{д9}$, $p_{д8}$).
3. Показания приборов занести в таблицу.

№ п/п	Единица измерения	Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
1	мм	Размеры трубы на входе в конфузор					

Продолжение

№ п/п	Единица измерения	Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
2	м ²	Площадь сечения трубы до местного сопротивления					
3	град	Угол сужения конфузора					
4	мм	Размеры трубы после конфузора					
5	м ²	Площадь сечения трубы после местного сопротивления					
6	м ³ /с	Расход воздуха					
7	м/с	Скорость воздуха до местного сопротивления					
8	м/с	Скорость воздуха после местного сопротивления					
Показания дифференциального манометра для точек замеров							
9	Па	Статическое давление до конфузора					
10	Па	Динамическое давление до конфузора					
11	°С	Температура воздуха					
12	Па	Статическое давление после конфузора					
13	Па	Динамическое давление после конфузора					
14	кг/м ³	Плотность воздуха					
15	м ² /с	Коэффициент кинематической вязкости					
16		Число Рейнольдса Re					
17	м	Длина конфузора					
18	–	Коэффициент гидравлического трения λ					

№ п/п	Единица измерения	Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
19	Па	Теоретический коэффициент местного сопротивления конфузора					
20	Па	Экспериментальный коэффициент местного сопротивления конфузора					
21	%	Относительная погрешность измерений					

Обработка результатов измерений

По результатам измерений определяются:

1. В зависимости от температуры – коэффициент кинематической вязкости воздуха и плотность воздуха

$$\rho = \frac{353}{273+t}.$$

2. Число Рейнольдса и режим движения воздуха

$$Re = \frac{v_1 \cdot d_1}{\nu},$$

где v_1 – скорость до местного сопротивления; d_1 – диаметр трубы на входе в конфузор; ν – коэффициент кинематической вязкости.

3. В зависимости от режима движения воздуха – коэффициент гидравлического трения λ (см. лабораторную работу № 3), приняв абсолютную шероховатость стенок воздуховода $\Delta = 0,1$ мм.

4. Коэффициент гидравлического трения $\zeta_{тр}$, коэффициент сопротивления конфузора ζ_M и общий коэффициент сопротивления конфузора по вышеуказанным формулам для каждого конфузора.

5. Полные потери давления у конфузоров 1 и 2:

$$\Delta p_{к1} = (p_{с11} + p_{д11}) - (p_{с10} + p_{д10}),$$

$$\Delta p_{к2} = (p_{с9} + p_{д9}) - (p_{с8} + p_{д8}).$$

6. Значение скорости в точках 10 и 8:

$$v_{10} = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{д10}}{\rho}},$$

$$v_8 = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{д8}}{\rho}}.$$

7. Экспериментальные коэффициенты сопротивлений в конфузорах:

$$\zeta_{к1} = \frac{2 \cdot \Delta p_{к1}}{\rho \cdot v_{10}^2},$$

$$\zeta_{к2} = \frac{2 \cdot \Delta p_{к2}}{\rho \cdot v_8^2}.$$

8. Относительная погрешность измерений, процентная разница между экспериментальными и теоретическими значениями потерь давления.

Контрольные вопросы

1. Какой насадок называется конфузуром?
2. От каких величин зависит коэффициент местного сопротивления конфузуров?
3. По какой формуле определяется общий коэффициент сопротивления?
4. По какой формуле определяется коэффициент сопротивления трения конфузуров?
5. Какую скорость используют при нахождении числа Рейнольдса – до или после конфузуров?
6. Чем можно объяснить расхождение между экспериментальными и теоретическими значениями коэффициента сопротивления конфузуров?

Лабораторная работа № 9

ИСПЫТАНИЕ РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА И ПОСТРОЕНИЕ ЕГО ПОЛНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Цель работы: снять характеристику вентилятора, входящего в состав универсального лабораторного аэродинамического стенда (ТМЖ-1м), и сравнить ее с паспортной аэродинамической характеристикой.

Общие сведения

Вентиляторами называют гидравлические машины с рабочим органом в виде лопаточного колеса, предназначенные для перемещения воздуха или другого газа при потерях давления в сетях не свыше 15 000 Па. Степень повышения давления воздуха в вентиляторах невелика и не оказывает какого-либо существенного влияния на процесс в них. Поэтому при исследовании работы и подборе вентилятора принято считать, что газ не сжимается.

Вентиляторы подразделяются на типы в зависимости от конструкции и принципа действия, полного давления, развиваемого вентилятором, способа установки и условий работы.

По конструкции и принципу действия вентиляторы делятся на два основных типа – радиальные и осевые. Применяются также модификации радиальных вентиляторов – диаметральные, диагональные, прямоточные, дисковые и др. Наибольшее применение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха и производственных целях нашли радиальные, осевые и диаметральные вентиляторы.

По создаваемому полному давлению при номинальном режиме работы вентиляторы делятся на три типа:

- низкого давления – до 1000 Па;
- среднего давления – от 1000 до 3000 Па;
- высокого давления – от 3000 до 12 000 Па.

По числу рабочих колес осевые и радиальные вентиляторы могут быть одно- или многоступенчатыми. Увеличение числа ступеней приводит практически к пропорциональному увеличению давления, развиваемого вентилятором при данной производительности.

По способу установки вентиляторы бывают:

- обычные – устанавливаются на опоре (фундаменте, раме и т. п.);

- канальные – устанавливаются в сети воздуховодов (в канале);
- крышные – конструктивно приспособлены для установки на покрытии здания.

В зависимости от компоновки вентиляторы могут быть разделены на переносные, полустационарные и стационарные.

Основными аэродинамическими параметрами вентиляторов являются производительность, полное, динамическое и статическое давления, мощность вентилятора, его полный и статический КПД.

Производительность (объемный расход) вентилятора L , м³/ч, – объемное количество газа, поступающего в вентилятор в единицу времени, отнесенное к условиям входа в вентилятор.

Полное давление вентилятора p_v , Па, – разность абсолютных полных давлений потока при выходе из вентилятора и перед входом в него при определенной плотности газа ($\rho = 1,2$ кг/м³) – определяется по зависимости

$$p_v = p_{\text{наг}} + p_{\text{вс}},$$

где $p_{\text{наг}}$ – абсолютное полное давление потока при выходе из вентилятора, Па; $p_{\text{вс}}$ – абсолютное полное давление потока перед входом в вентилятор, Па.

Полное давление вентилятора p_v расходуется на преодоление полного сопротивления сети.

Полезная мощность вентилятора $N_{\text{п}}$, кВт, – мощность, передаваемая потоку газа, проходящего через вентилятор,

$$N_{\text{п}} = p_v \cdot L_v \cdot 10^{-3}.$$

Полезная мощность меньше, чем мощность на валу, на величину потерь мощности в вентиляторе. Эти потери учитываются коэффициентом полезного действия (КПД) вентилятора.

За полный КПД вентилятора η принимается отношение полезной мощности вентилятора к мощности, потребляемой вентилятором N :

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N}.$$

На стенде установлен центробежный прямоточный вентилятор ВЦ 5-35-3.55.01 (рис. 20).

Радиальным вентилятором называют вентилятор, у которого направление меридиональной составляющей скорости потока газа на входе в рабочее колесо параллельно оси его вращения, а на выходе из

рабочего колеса – перпендикулярно. Рабочим органом в радиальном вентиляторе является вращающееся радиальное колесо.

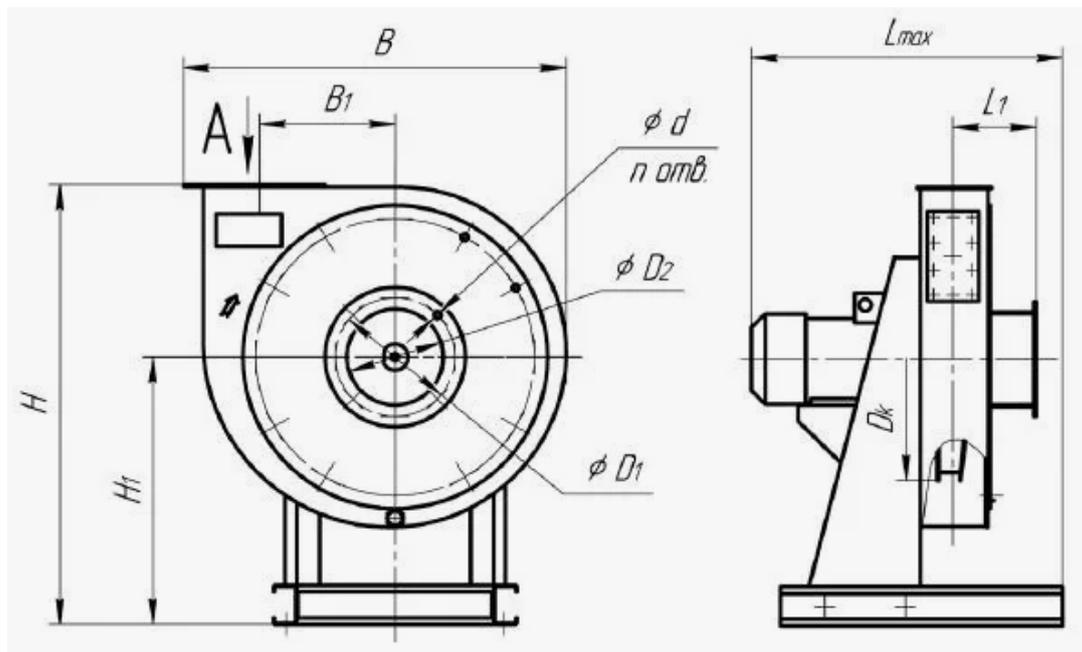


Рис. 20. Вентилятор ВЦ 5-35-3.55.01

Перемещаемая среда, двигаясь в осевом направлении через всасывающий коллектор, попадает на вращающееся рабочее колесо, снабженное лопатками, изменяет направление движения к периферии колеса, закручивается в направлении вращения, поступает в спиральный корпус, а затем через отверстие выходит в выходной канал.

Радиальный вентилятор ВЦ 5-35-3.55 (1,1 кВт, 3000 об/мин) коррозионностойкий поставляется в двух вариантах исполнения. Аэродинамическая характеристика вентилятора представлена на рис. 21. В первом случае рабочее колесо с лопатками установлено на валу электродвигателя, во втором – вентилятор и электродвигатель установлены на сварной раме и соединены клиноременной передачей. Кожух и лопатки стальные. На прибор нанесено цинковое или лакокрасочное покрытие, обеспечивающее дополнительную защиту от коррозии. Двигатель асинхронный трёхфазный.

Вентилятор ВЦ 5-35-3.55.01 может иметь следующие специальные исполнения:

- коррозионностойкое;
- взрывозащищенное коррозионностойкое;
- взрывозащищенное разнородное.

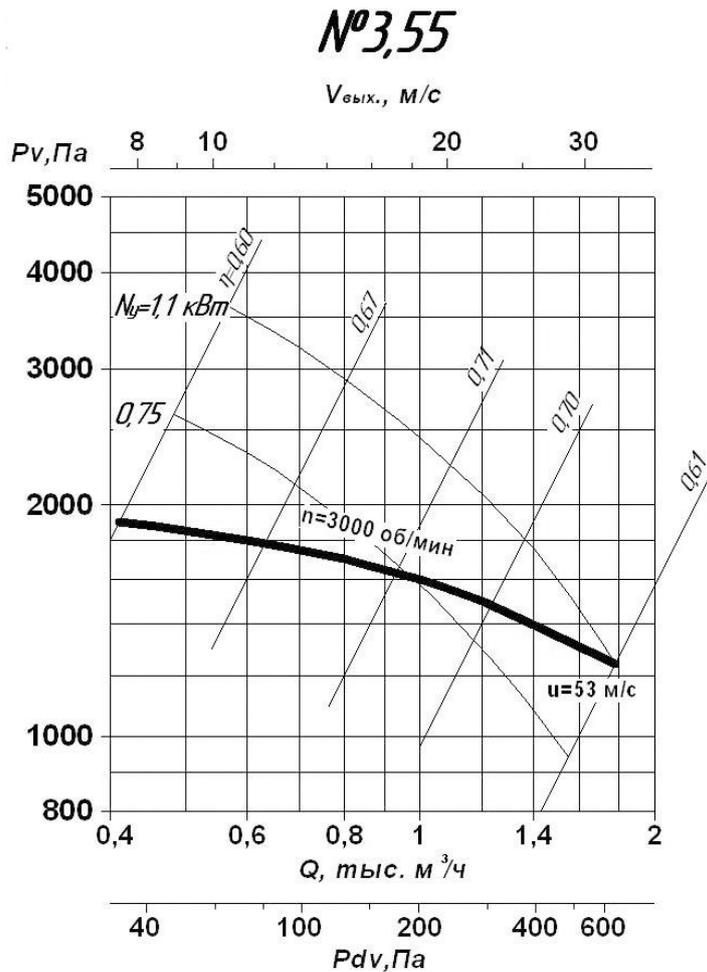


Рис. 21. Аэродинамическая характеристика вентилятора

Характеристика электродвигателя:

Скорость вращения, об/мин	3000
Номинальная мощность, кВт	0,75
Номинальный ток при 380 В (50 Гц), А	1,8
Тип ЭД	71А2

Характеристики вентилятора ($\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$):

Производительность L_{min} , тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	0,41
Производительность L_{max} , тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	0,95
Полное давление $P_{v_{\text{min}}}$, Па	1600
Полное давление $P_{v_{\text{max}}}$, Па	1900
Масса, кг	55
Виброизолятор марки ДО-40, шт	4
Виброизолятор для $E_{\text{х исп}}$ марки ВР 201, шт	4

Испытание вентилятора проводится в соответствии с ГОСТ 12.3.018-79 «Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний». В соответствии с ГОСТом выбираются координаты точек измерения давлений и скоростей для воздуховодов (рис. 22).

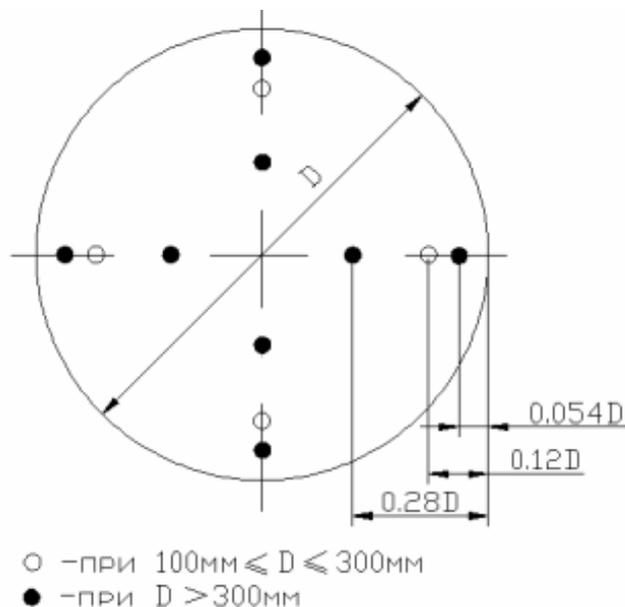


Рис. 22. Координаты точек измерения давлений и скоростей в воздуховодах цилиндрического сечения

Для определения средней скорости в воздуховодах круглого сечения его сечения разбивают на n равновеликих площадок, имеющих форму колец. Число колец (площадок) в зависимости от диаметра воздуховода в местах измерения скорости рекомендуется принимать по [8]:

$n = 3$ при диаметре до 355 мм;

$n = 3$ при диаметре до 630 мм;

$n = 3$ при диаметре до 710 мм;

$n = 3$ при диаметре более 710 мм.

Расстояние от оси воздуховода до оси равновеликой площадки (кольца) r_i – точки измерения скорости – определяется по формуле

$$r_i = R \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k - 1}{2 \cdot n}}, \text{ мм},$$

где R – радиус воздуховода; k – порядковый номер кольца, для которого определяют величину r_i .

Измерение скоростей принято выполнять по двум перпендикулярным диаметрам, т. е. в четырех точках для каждого кольца. Затем

находят среднее арифметическое значение скорости в пределах кольца:

$$\overline{v}_i = \frac{v_{1a} + v_{1б} + v_{1в} + v_{1г}}{4}.$$

Среднюю скорость в выбранном сечении воздуховода определяют как среднюю по площади каждого кольца:

$$v = \frac{\overline{v}_1 + \overline{v}_2 + \overline{v}_3 + \dots + \overline{v}_i}{n}.$$

Измерение скоростей с помощью трубки Пито – Прандтля начинают от стенки воздуховода.

Для того чтобы определить скорости в воздуховодах прямоугольного сечения, сечения разбивают на n площадок, площадь каждой из которых f_i . Размер элементарной площадки не должен превышать $0,05 \text{ м}^2$. В центре каждой площадки измеряют скорость воздуха во всех точках и динамическое давление $p_{ди}$ (рис. 23).

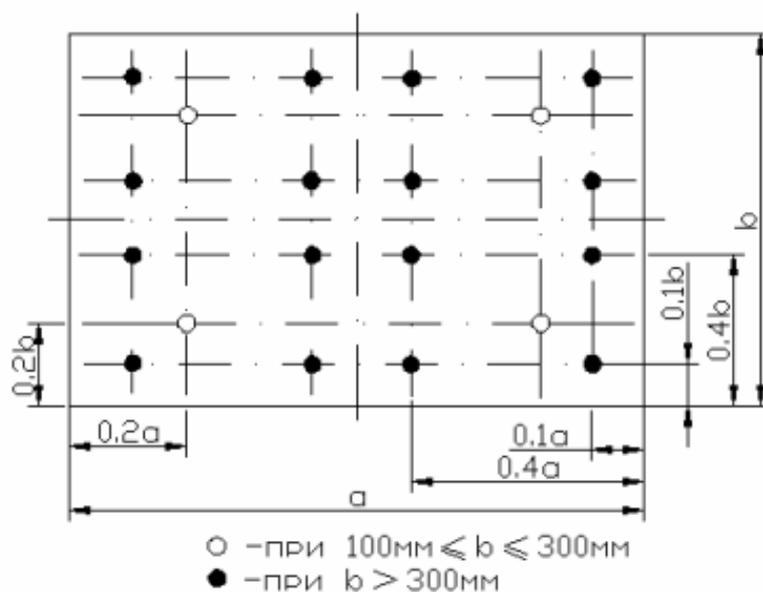


Рис. 23. Координаты точек измерения давлений и скоростей в воздуховодах прямоугольного сечения

Среднюю скорость воздушного потока в воздуховоде круглого сечения можно определить по единичному замеру в той точке, где местная скорость равна средней. Такой точкой является точка, отстоящая от стенки воздуховода на расстояние

$$y = (0,238 - 0,244) \cdot R = 0,12D.$$

Для аэродинамических испытаний применяется напорная трубка Пито – Прандтля (рис. 24), которая используется в комплекте с дифференциальным манометром при определении давлений. Внутренняя трубка открыта навстречу потоку воздуха и определяет полное давление.

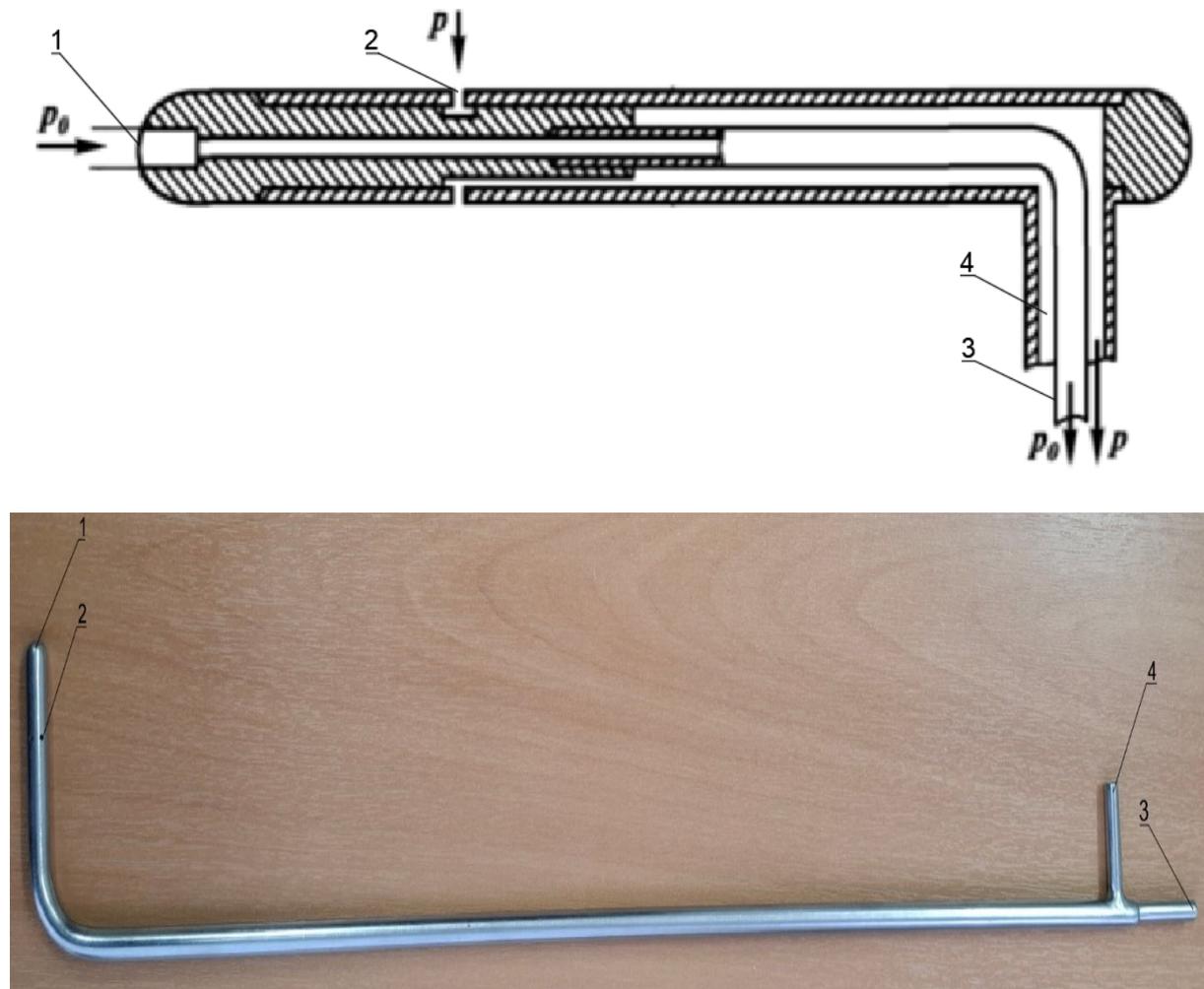


Рис. 24. Трубка Пито – Прандтля: 1 – входное отверстие для определения полного давления; 2 – входное отверстие для определения статического давления; 3 – штуцер для присоединения гибких трубок при определении полного давления; 4 – штуцер для присоединения гибких трубок при определении статического давления

Аэродинамической характеристикой вентилятора называется графическая зависимость между основными параметрами, определяющими работу вентилятора, – полного давления, мощности и КПД – от производительности при постоянном значении частоты вращения рабочего колеса.

Расчетные методы определения параметров работы вентилятора не позволяют получить достаточно точные аэродинамические характеристики, поэтому их построение выполняется на основе данных аэродинамических испытаний, проведенных в лабораторных условиях. Результаты исследований вентилятора при определенном числе оборотов рабочего колеса могут быть пересчитаны на другие режимы работы, а также использоваться для построения характеристик вентиляторов, геометрически подобных испытанной конструкции.

Размерные аэродинамические характеристики вентилятора представляют собой зависимости полного, статического и (или) динамического давлений, развиваемых вентилятором, потребляемой мощности, полного КПД и статического КПД от производительности L_v при определенной плотности газа ρ перед входом в вентилятор и постоянной частоте вращения n его рабочего колеса.

Для вентиляторов общего назначения аэродинамические характеристики соответствуют работе на воздухе при нормальных условиях (плотность $1,2 \text{ кг/м}^3$, барометрическое давление $101,34 \text{ кПа}$, температура $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительная влажность 50%).

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Подготовить аэродинамический универсальный стенд к работе (см. лабораторную работу № 1).
2. С помощью дроссельной заслонки установить первый замер, заслонку вращать в сторону увеличения расхода воздуха.
3. Открыть нижнюю секцию в тумбе, замерить площади отверстий на входе и выходе вентилятора.
4. Термоанемометром замерить температуру и скорость движения воздуха на входе и выходе вентилятора.
5. К дифференциальному манометру ДМЦ-01 с помощью гибких трубок подключить трубку Пито – Прандтля (см. рис. 24), снять показания статического, динамического и полного давления в пяти точках, координаты точек выбрать в соответствии с рис. 22 и рис. 23 на всасывании и нагнетании вентилятора.
6. Показания занести в таблицу.

№ п/п	Единица измерения	Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5
1	м ²	Площадь отверстия на входе в вентилятор					
2	м ²	Площадь отверстия на выходе из вентилятора					
3	°С	Температура воздуха					
4	м/с	Средняя скорость воздуха на входе в вентилятор					
5	м/с	Средняя скорость воздуха на выходе из вентилятора					
6	м ³ /с	Расход воздуха на входе в вентилятор					
7	м ³ /с	Расход воздуха на выходе из вентилятора					
8	м ³ /с	Расход воздуха вентилятора					
9	Па	Статическое давление воздуха на всасывании вентилятора					
10	Па	Статическое давление воздуха на нагнетании вентилятора					
11	Па	Полное давление воздуха на всасывании вентилятора					
12	Па	Полное давление воздуха на нагнетании вентилятора					
13	Па	Динамическое давление воздуха на всасывании вентилятора					
14	Па	Динамическое давление воздуха на нагнетании вентилятора					
15	Па	Давление вентилятора					
16	кВт	Полезная мощность вентилятора					

Обработка результатов измерений

По результатам измерений определяются:

1. В зависимости от температуры – плотность воздуха

$$\rho = \frac{353}{273+t}.$$

2. Расход воздуха на входе и выходе вентилятора:

$$L_{\text{ВХ}} = v_{\text{ВХ}} \cdot F_{\text{ВХ}}, \quad L_{\text{ВЫХ}} = v_{\text{ВЫХ}} \cdot F_{\text{ВЫХ}},$$

где $L_{\text{ВХ}}$ – расход воздуха на входе (всасывании) вентилятора; $v_{\text{ВХ}}$ – средняя скорость на входе (всасывании) вентилятора; $F_{\text{ВХ}}$ – площадь сечения канала на входе (всасывании) вентилятора; $L_{\text{ВЫХ}}$ – расход воздуха на выходе (нагнетании) вентилятора; $v_{\text{ВЫХ}}$ – средняя скорость на выходе (нагнетании) вентилятора; $F_{\text{ВЫХ}}$ – площадь сечения канала на выходе (нагнетании) вентилятора.

3. Расход воздуха вентилятора

$$L_{\text{В}} = \frac{L_{\text{ВХ}} + L_{\text{ВЫХ}}}{2}.$$

4. Давление вентилятора

$$p_{\text{В}} = p_{\text{НАГ}} + p_{\text{ВС}}.$$

5. Полезная мощность

$$N_{\text{П}} = p_{\text{В}} \cdot L_{\text{В}} \cdot 10^{-3}.$$

Строим:

1) аэродинамическую характеристику вентилятора, зависимость $p_{\text{В}} = f(L_{\text{В}})$;

2) зависимость статического и динамического давления вентилятора от его производительности.

Необходимо сравнить аэродинамическую характеристику вентилятора с заявленной в техническом паспорте аэродинамической.

Контрольные вопросы

1. Какая гидравлическая машина называется вентилятором?
2. На какие типы подразделяются вентиляторы?
3. На какие типы делятся вентиляторы по создаваемому давлению?
4. На какие типы делятся вентиляторы по способу установки?

5. Перечислите основные аэродинамические параметры вентиляторов.
6. Как найти полное давление вентилятора?
7. Как определить полезную мощность вентилятора?
8. Какая величина принимается за полный КПД вентилятора?
9. Какой вентилятор называют радиальным?
10. В соответствии с каким нормативным документом проводятся аэродинамические испытания вентиляторов?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В издании систематизирован теоретический материал, необходимый для выполнения лабораторных работ, представлено описание лабораторного стенда с разными модулями и порядок работы. Рассмотрены измерительные приборы и возможности их использования для снятия замеров.

Работая с практикумом, студенты приобретают умения, необходимые для проектирования и выполнения работ по пусконаладке систем вентиляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003 : утв. и введ. в действие Приказом Минстроя России от 30.12.2020 № 921/пр [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/404/SP-60.pdf> (дата обращения: 11.11.2024).

2. *Гончаренко, Ю. Б.* Теплотехническое оборудование теплоэлектростанций [Электронный ресурс] : практикум / Ю. Б. Гончаренко. – URL: https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/c16/Goncharenko_Yu.B._TeploMexanichesкое_oborudovanie_teploelectrostancij.pdf (дата обращения: 11.11.2024).

3. *Краснов, Ю. С.* Системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Рекомендации по проектированию, испытаниям и наладке / Ю. С. Краснов, А. П. Борисоглебская, А. В. Антипов. – М. : ТЕРМОКУЛ, 2004. – 370 с.

4. Testo 425 [Электронный ресурс] : рук. пользователя. – URL: [testo-425-rukovodstvo.pdf](https://www.testo.ru/ru/425-rukovodstvo.pdf) – Яндекс Документы (дата обращения: 11.11.2024).

5. *Еськин, А. А.* Вентиляция [Электронный ресурс] : практикум / А. А. Еськин, Н. С. Ткач, Н. Н. Турчанович. – URL: [eskin_a_a_tkach_n_s_turchanovich_n_n_ventilyaciya_ch_1.pdf](https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/s_turchanovich_n_n_ventilyaciya_ch_1.pdf) (дата обращения: 11.11.2024).

6. *Идельчик, И. Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Электронный ресурс] / И. Е. Идельчик. – URL: [296.1.pdf](https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/296.1.pdf) (дата обращения: 11.11.2024).

7. *Угорова, С. В.* Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Вентиляция» [Электронный ресурс] / С. В. Угорова, М. В. Шеногин. – URL: <http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/863> (дата обращения: 11.11.2024).

8. *Горшков, В. И.* Вентиляция [Электронный ресурс] : практикум / В. И. Горшков, С. В. Баканова, К. О. Чичиров. – URL: [4D6963726F736F667420576F7264202D20CFF0E0EAF2E8EAF3EC5FE3F0E8F45F323031365FEFEEF1EB](https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/4D6963726F736F667420576F7264202D20CFF0E0EAF2E8EAF3EC5FE3F0E8F45F323031365FEFEEF1EB.pdf) (дата обращения: 11.11.2024).

Учебное электронное издание

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ВЕНТИЛЯЦИЯ»

Автор-составитель

УГОРОВА Светлана Вениаминовна

Редактор Е. А. Лебедева

Технические редакторы Ш. Ш. Амирсейидов, Н. В. Пустовойтова

Компьютерная верстка Д. В. Лавровой

Корректор О. В. Балашова

Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

Системные требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10; Adobe Reader;
дисковод CD-ROM.

Тираж 9 экз.

Издательство Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.