

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

**Д. А. Лапин, А. П. Абрамов, Ю. С. Щербаков, Н. В. Ерофеева  
Д. М. Кобылянский**

## **ИСПЫТАНИЕ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ**

**методические указания к лабораторной работе**

Рекомендовано учебно-методической комиссией  
направления подготовки бакалавров  
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
в качестве электронного издания  
для лабораторной работы

Кемерово 2017

## Рецензенты:

Темникова Е.Ю. – доцент кафедры теплоэнергетики

Богомолв А. . Р– председатель учебнометодической комиссии  
направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

**Лапин Дмитрий Александрович** Испытание вентиляторной  
установки [Электронный ресурс]: методические указания к лабора-  
торной работе по дисциплине «Тепловые двигатели и нагнетатели»  
студентов направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и тепло-  
техника» / Д. А. Лапин, А. П. Абрамов. – Электрон. дан. Кемерово:  
КузГТУ, 2017. – Систем. требования: Pentium IV ; ОЗУ 8 Гб ; Windows  
2003. - Загл. с экрана.

Методические указания к лабораторной работе составлены в соот-  
ветствии с рабочей программой дисциплины «Тепловые двигатели  
нагнетатели» и предназначены для бакалавров направления подготовки  
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

© КузГТУ  
© Лапин Д. А.  
© Абрамов А.П.  
© Щербаков Ю.С.  
© Ерофеева Н.В.  
© Кобылянский Д.М.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Цель лабораторной работы – получить действительные индивидуальные рабочие характеристики вентилятора:

$P_{ст}(Q), N_B(Q), \eta_{ст}(Q)$ .

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1 – ознакомиться с устройством лабораторной установки, правилами запуска вентилятора и мерами безопасности;
- 2 – освоить методику измерений для экспериментального определения индивидуальных характеристик вентилятора;
- 3 – закрепить навыки работы с измерительными приборами и аппаратурой управления вентилятором;
- 4 – выполнить необходимые измерения, расчеты и анализ результатов.

## 2. УСТРОЙСТВО ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ

### 2.1. Перечень оборудования и приборов

Вентилятор	центробежный
Электродвигатель	асинхронный, с короткозамкнутым ротором
Амперметр	Э378
Вольтметр	Э30
Фазометр	Д342
Депрессиометр	водяной
Микроманометр	ММН-240
Анемометр крыльчатый	У5
Анемометр чашечный	МС-13 (У11)
Барометр-анероид	–
Психрометр аспирационный	МВ-4М
Диффузор	выходной

### 2.2. Техническая характеристика вентиляторного агрегата

Вентилятор	
Тип	центробежный
Модель	ВЦ-3,5
Диаметр рабочего колеса, м	мD <sub>2</sub> 350

Ширина лопаток рабочего колеса, мм  $B_2$  100  
 Диаметр всасывающего патрубка, мм  $d_{вс}$  195  
 Напорный патрубок квадратного сечения со  
 стороной, мм  $a$  145

### Электродвигатель

Модель двигателя АОЛ 31-4М  
 Число фаз  $n_{\phi}$  3  
 Частота вращения номинальная, об/мин  $n_{дв}$  1410  
 Линейное напряжение (соединение обмоток в  $U$  звезду), В 380  
 Мощность, кВт  $N_{дв}$  0,6  
 КПД, ед.  $\eta_{дв}$  0,74  
 Коэффициент мощности, ед.  $\cos\varphi$  0,75

### 2.3. Параметры трубопровода и диффузора

#### Трубопровод

Диаметр (внутренний), мм  $d_{тр}$  195  
 Толщина стенки, мм  $S_{тр}$  1  
 Длина  $(l_1 + l_2)$ , м  $L_{тр}$  2,5  
 Расстояние от всасывающего патрубка  
 вентилятора до штуцера (–), м  $l_1$  0,35  
 Площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>  $F_{тр}$  0,03

#### Диффузор

Входной патрубок квадратного сечения со  
 стороной, мм  $a$  145  
 Выходной патрубок прямоугольного сечения со  $a \times b =$   
 сторонами  $(a \times b)$ , м 0,3 x 0,25  
 Толщина стенки, мм  $S_{диф}$  1  
 Длина, м  $L_{диф}$  0,75  
 Площадь поперечного сечения на входе, м<sup>2</sup>  $S_{вх}$  0,021  
 Площадь поперечного сечения на выходе, м<sup>2</sup>  $S_{вых}$  0,075

## 2.4. Устройство вентиляторной установки

Схема лабораторной установки для проведения испытания центробежного вентилятора представлена на рис. 1. Внутри кожуха вентилятора 1 расположено рабочее колесо одностороннего всасывания 2, которое неподвижно установлено на вал электродвигателя 3. К всасывающему патрубку вентилятора 4 жестко присоединен (прифланцован) трубопровод 5, а к нагнетательному патрубку шарнирно прикреплен диффузор 6 (на рис. 1 шарниры не показаны). Атмосферный воздух засасывается в трубопровод через шибер 7 (съёмной конструкции) и, пройдя через вентилятор, выбрасывается через диффузор в атмосферу. Элементы 7, 5 и 6 образуют внешнюю сеть вентилятора.

Шибера служит для изменения величины потерь напора воздушного потока на входе в трубопровод, что позволяет изменять характеристику внешней сети вентилятора и, следовательно, параметры режима работы вентиляторной установки,

Внутри трубопровода перед всасывающим патрубком вентилятора установлены две пневматические трубки (трубки Пито) с номерами 8 и 9. С наружной стороны трубопровода они оборудованы выходными штуцерами, которые маркированы знаками (+) и (–).

Входное сечение трубки Пито 8, расположено строго по оси трубопровода и направлено навстречу потоку воздуха. На выходе из штуцера (+) производятся измерения полного давления потока воздуха перед вентилятором.

Входное сечение трубки Пито 9 расположено строго перпендикулярно оси трубопровода. На выходе из штуцера (–) производятся измерения статического давления потока воздуха перед вентилятором.

В выходном патрубке вентилятора установлена еще одна трубка Пито 10, которая имеет аналогичную конструкцию и ориентацию относительно потока, как и трубка 9. Она предназначена для проведения измерений статического давления воздуха за вентилятором.

Для регистрации динамического давления в трубопроводе используется микроманометр 11. Отвод трехходового крана микроманометра (на рис. 1 не показан), отмеченный знаком (+),

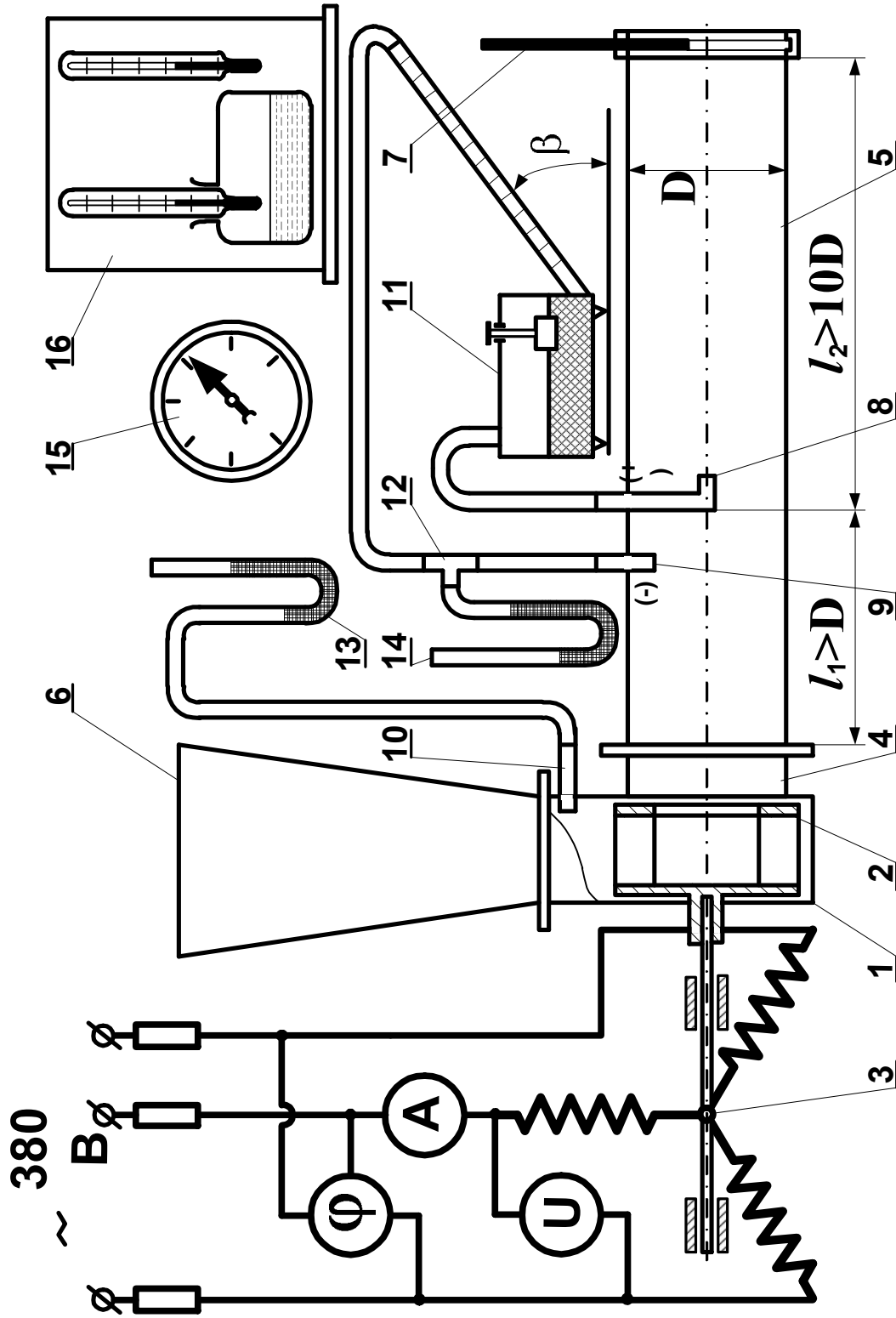


Рис. 1. Схема вентиляторной установки для проведения испытаний

1 – кожух; 2 – рабочее колесо; 3 – электрический двигатель; 4 – всасывающий патрубок; 5 – трубопровод; 6 – диффузор; 7 – шибер; 8, 9 и 10 – трубки Пито; 11 – микроамперметр; 12 – тройник; 13 и 14 – депрессиометр; 15 – барометр; 16 – психрометр; A – амперметр; U – вольтметр; φ – фазометр

соединен гибким шлангом с трубкой Пито 8, а отвод, помеченный знаком (–), соединен с одним из отводов тройника 12, который установлен на штуцер (–).

Для измерений статического давления в нагнетательной части внешней сети (за вентилятором) установка оборудована водяным депрессиометром 13. Он представляет собой  $U$ -образную стеклянную трубку, оба конца которой направлены вверх. Трубка неподвижно закреплена на вертикальном щитке поверх миллиметровой шкалы, которая располагается также строго вертикально. Один конец  $U$ -образной трубки имеет выход в атмосферу, а другой – гибким резиновым шлангом связан с трубкой Пито 10.

Для измерений статического давления во всасывающей части внешней сети (перед вентилятором) используется водяной депрессиометр 14, той же конструкции, что и депрессиометр 13. Один из концов  $U$ -образной трубки имеет выход в атмосферу, а другой – гибким резиновым шлангом связан со вторым отводом тройника 12. Тройник обеспечивает соединение и микроманометра 11 и депрессиометра 14 с трубкой Пито 9.

Для оценки атмосферных условий во время испытаний используются барометр 15 и психрометр 16.

В электрическую сеть питания двигателя вентилятора включены приборы: амперметр  $A$ , вольтметр  $U$ , фазометр  $\cos\varphi$ . Они установлены на одном щите, где находится еще и кнопочный пост для управления вентилятором. Щит находится в правом углу ауд.1030. Амперметр включен в одну из фаз последовательно. Вольтметр подключен параллельно к двум фазам. Фазометр подключен параллельно к трем фазам питающей сети.

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

#### 3.1. Общие положения

В основу методики определения действительных индивидуальных характеристик гидравлических машин, к которым относится и центробежный вентилятор, положены следующие теоретические законы механики и гидравлики.

При последовательном соединении элементов внешней сети расход жидкости в каждом из них остается одинаковым. В этом случае расход не зависит ни от условного диаметра, ни от конструкции любого из ее элементов. Так как вентилятор включен последовательно с элементами внешней

сети, поэтому, в соответствии с законом сохранения вещества, расход воздуха через все ее элементы, равен производительности самого вентилятора.

В соответствии с законом сохранения энергии, приращение механической энергии, полученное потоком воздуха от рабочего колеса в вентиляторе, затрачивается на совершение работы против сил трения (гидравлические потери в трубопроводе) и на сохранение некоторой кинетической энергии на выходе из диффузора. Работа против сил тяжести, как и против сил статического давления, в этом случае равна нулю, так как изменения места положения воздуха и его статического давления в начале и в конце установки не происходит.

Режим работы вентиляторной установки определяется точкой пересечения напорных характеристик вентилятора и внешней сети (рис. 2). В этой точке производительность вентилятора равна расходу воздуха в любом элементе внешней сети, а напор, созданный рабочим колесом, равен потерям напора во всасывающей и нагнетательной частях сети и на выходе из нее потока с некоторой скоростью. Для получения достоверных результатов необходимо произвести измерения в 8–12 стационарных рабочих режимах нагружения вентилятора. Изменение производительности установки следует выполнять примерно равными шагами от нуля до максимальной величины и обратно так, чтобы средняя величина шага была равна  $(0,08–0,12)Q_{\max}$ .

Так как частота вращения рабочего колеса вентилятора во время испытаний остается постоянной, то характеристика вентилятора не изменяется. В этом случае изменить режим работы вентиляторной установки можно только за счет управления характеристикой внешней сети. Увеличивая площадь входного сечения трубопровода 5 за счет подъема шибера 7, сокращают потери напора на входе, и характеристика внешней сети становится пологой, что сопровождается одновременным повышением производительности установки ( $Q_1 < Q_2 < Q_3$ , рис. 2). Так как все эти точки принадлежат характеристике вентилятора, то, соединяя их плавной кривой стандартного вида, можно получить требуемую зависимость  $H(Q)$ .

### 3.2. Организация проведения испытаний

Производить измерения по всем приборам и управлять установкой необходимо одновременно, поэтому число эксперимен-



таторов должно быть не менее 6. Обязательно должен быть руководитель испытаний, который подает команды по выполнению управления вентилятором, проведению измерений. Он же осуществляет контроль порядка в аудитории и правильности измерений.

Запуск вентилятора производится по команде руководителя «Пуск вентилятора» нажатием кнопки черного цвета «Пуск».

Остановка вентилятора производится по команде руководителя «Выключить вентилятор» нажатием кнопки красного цвета «Стоп».

Измерения по приборам производятся по команде руководителя «Отсчет». Результаты измерений заносятся в протокол испытаний, который заполняется одним из экспериментаторов на классной доске.

Управление вентилятором при работающем агрегате сводится к изменению положения шиберов, увеличивая или уменьшая входное сечение всасывающего трубопровода, по командам руководителя «Больше» или «Меньше».

### 3.3. Запуск вентилятора

Запуск вентилятора следует производить при закрытом всасывающем и нагнетательном трубопроводах как можно ближе к патрубкам вентилятора. В нашей установке это возможно полным перекрытием всасывающего трубопровода шибером и постановкой временной перемычки из жести или фанеры между напорным патрубком и диффузором. Это следует делать для облегчения запуска приводного электродвигателя, как в лабораторной установке, так и в промышленных.

Запуск вентилятора «на закрытую сеть» обеспечивает снижение механической нагрузки на двигатель, так как производительность самого вентилятора в это время равна нулю. Следует напомнить, что запуск только одного двигателя сопровождается токовыми нагрузками в 5–10–20 раз большими, чем ток при номинальной мощности.

Процедура запуска включает следующие действия:

- нажать кнопку «Пуск»;
- в течение 5–10 с (в нашей установке) контролировать тональ-

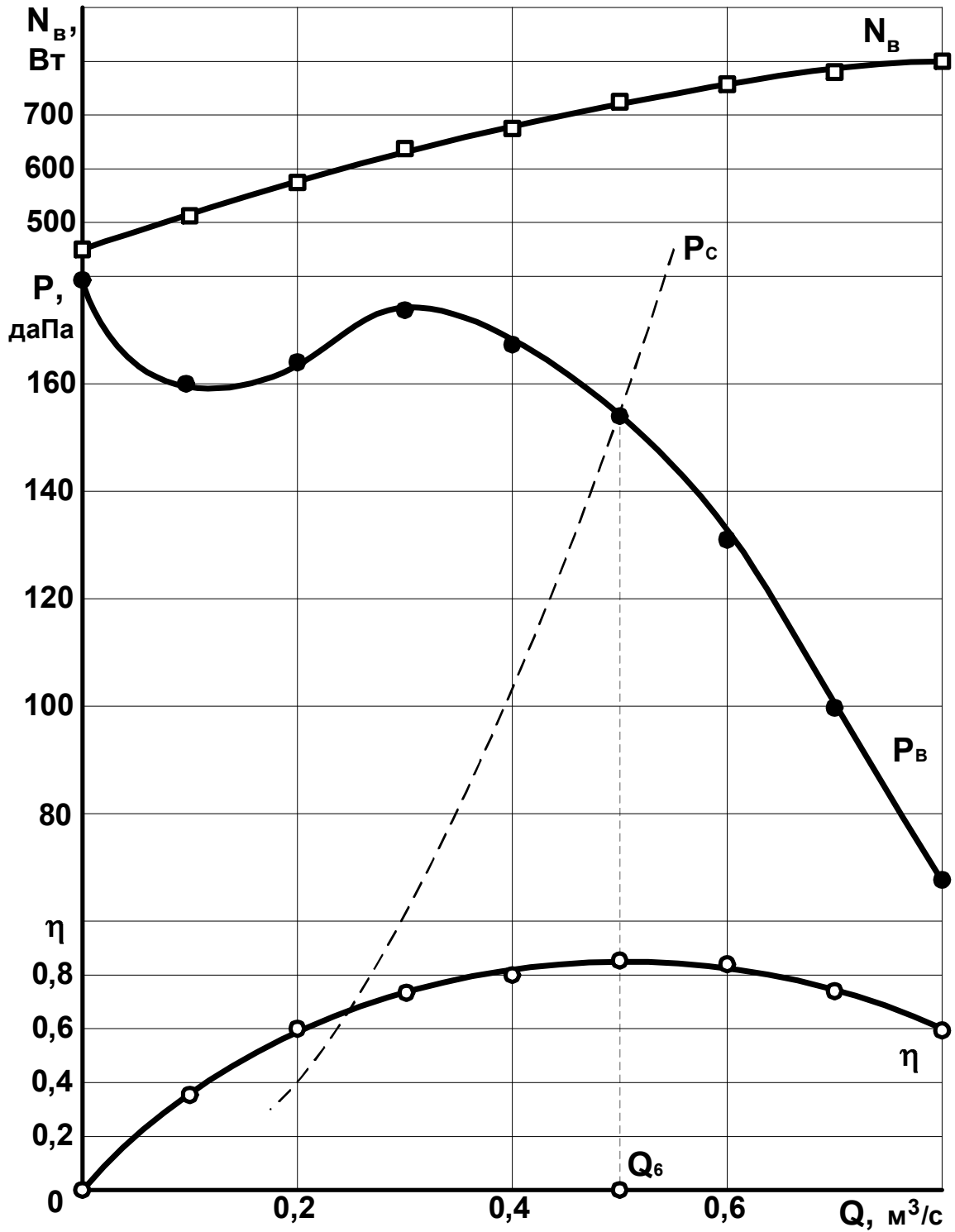


Рис. 2. Пример действительных индивидуальных характеристик вентилятора и внешней сети:

$P_B$  и  $P_C$  — напорно-расходные характеристики соответственно вентилятора и внешней сети;  $N_B$  и  $\eta$  — характеристики мощности на валу и КПД вентилятора

ность звука производимого двигателем (с увеличением частоты вращения тональность звучания двигателя повышается и, достигнув номинальной частоты, далее не изменяется);

- после разгона двигателя убрать временную перемычку между напорным патрубком и диффузором (наклонить диффузор, вынуть перемычку, вернуть диффузор в рабочее положение);
- перевести шибер из положения «закрыто» в положение «открыто» (плавный переводшибера исключает проявление гидравлического или аэродинамического удара в элементах трубопровода, предотвращает броски тока в измерительных приборах, электродвигателе и питающей сети).

### 3.4. Приемы измерений физических величин

#### 3.4.1. Измерение давления атмосферного воздуха

Для измерения давления атмосферного воздуха применяется барометр anerоид, который позволяет получать результат с погрешностью не более 0,5% как в закрытых помещениях, так и в открытом пространстве. Снижение погрешности измерений может быть достигнуто соблюдением следующих простых приемов:

- 1— во время измерения шкала прибора должна располагаться в вертикальной плоскости так, чтобы цифры на ней читались без поворота головы направо или налево;
- 2— во время снятия отсчета по шкале необходимо располагать кончик стрелки прибора на уровне глаз;
- 3— во время измерений не следует закрывать круглое отверстие на тыльной стороне прибора, равно как и располагать его на встречу движущемуся потоку воздуха.

#### 3.4.2. Измерения относительной влажности

Для постоянного контроля относительной влажности воздуха в лабораторных условиях широко применяется психрометр типа ВИТ. Для оперативного измерения в полевых условиях используют аспирационный психрометр модели МВ-4М, который состоит из центральной воздухопроводной трубки, к верхнему концу которой присоединена неподвижно аспирационная головка, а к нижнему — тройник из теплоизолирующего материала. Под колпаком аспирационной головки на вертикальном валу установ-

лено центробежное рабочее колесо, всасывающее отверстие направлено вниз. К верхнему концу вала присоединена пружина Архимеда, которая является источником энергии для рабочего колеса и заводится ключом, расположенным сверху колпака. В нижней половине колпака, на боковой поверхности расположено круговое отверстие в виде щели высотой равной, ширине лопаток рабочего колеса.

Оба отвода тройника оборудованы стальными никелированными гильзами диаметром немного меньшим, чем диаметр центральной воздухопроводной трубки. Наружная поверхность гильз никелирована для повышения отражающей способности, что резко уменьшает воздействие внешних источников тепла на измерительную часть психрометра.

Внутри каждой гильзы установлена трубка меньшего диаметра на 5–6 мм, с поперечным сечением, равным проходному сечению отводов тройника.

С двух сторон центральной трубки симметрично установлены два одинаковых термометра, ртутные колбы которых расположены внутри отводов тройника (в полости трубки меньшего диаметра). При этом между стенкой термометра и трубкой имеется радиальный зазор 2–3 мм (на сторону), что необходимо для движения воздуха.

Для предохранения термометров от механических воздействий и удобства обращения с прибором во время считывания показаний в верхней части тройника с двух сторон неподвижно закреплены металлические шины с выпуклой наружной поверхностью. Высота шин равна высоте центральной трубки, к которой они закреплены верхними концами двумя кронштейнами.

Перед проведением измерений одну колбу термометра со ртутью, например правого, обернуть батистом в 1 слой (марля 2 слоя) и смочить дистиллированной водой с помощью пипетки или шприца. Вместо батиста допускается использование марлевого тампона в 3–4 слоя. Излишки воды в тампоне следует устранить легким встряхиванием психрометра или на 1–2 минуты оставить прибор в вертикальном положении (тройником вниз). Затем произвести завод пружины, для чего следует плавно, без резких рывков поворачивать ключ по часовой стрелке (за не-

сколько приемов). По мере увеличения реакции пружины следует снижать скорость вращения ключа, чтобы остановить заводку до того, как пружина дойдет до упора. Нормального завода пружины достаточно для непрерывной работы вентилятора прибора в течение 20–30 минут.

При работе вентилятора «сухой» воздух из атмосферы засасывается в никелированные гильзы и омывает ртутные колбы термометров. Левый термометр в этом случае, взаимодействуя с сухим воздухом, регистрирует температуру атмосферного воздуха. Второй поток, поступая к правому термометру через влажный батистовый наконечник (марлевый тампон), обогащается парами воды и поэтому его температура становится меньше чем температура атмосферного воздуха. В этом случае правый термометр регистрирует температуру воздуха с влажностью 100% или температуру водяного пара.

В тройнике оба потока объединяются и далее по центральной воздухопроводной трубке поднимаются к рабочему колесу вентилятора, которое выбрасывает воздух через щель в колпаке аспирационной головки опять в атмосферу.

Перед снятием отсчетов по термометрам продолжительность продувки психрометра воздухом при одноразовом смачивании батистового наконечника (марлевого тампона) должна быть 4–8 минут. На это время прибор должен быть стационарно установлен (подвешен) в одной из зон, где нет источников тепла или холода, отсутствует сквозное движение воздуха.

Во время снятия показаний с термометров экспериментатор должен держать прибор правой рукой за шины, а левой рукой придерживать его за ключ в крышке аспирационной головки. Категорически запрещается держать прибор рукой за тройник или касаться гильз.

Во время отсчета показаний термометров необходимо приостановить дыхание (не дышать на термометр). Рекомендуется, сняв отсчет по одному термометру, повернуть голову вправо или влево, сделать 2–4 дыхательных движений в нормальном темпе, приостановив дыхание, повернуть голову к прибору и снять показания второго термометра.

### 3.4.3. Измерение статического давления

Для измерения статического давления движущегося потока воздуха в установке используются два водяных депрессиометра (поз. 13 и 14, см. рис. 1). Перед измерениями статического давления следует выполнить следующие операции:

- 1– проверить наличие в приборе воды и положение ее в обеих ветвях  $U$ -образной трубки на одном уровне;
- 2 – проверить отсутствие воздушных пробок, нарушающих сплошность водяного столба;
- 3– проверить вертикальность положения шкалы прибора в двух взаимноперпендикулярных плоскостях (например, по косяку оконного проема или дверного проема);
- 4– для удобства измерений следует заполнить  $U$ -образную трубку водой до отметки шкалы «О»;
- 5– для уменьшения погрешности измерений оценить высоту мениска воды в трубке и определить для себя, по какой части мениска (верхняя кромка, нижняя кромка или середина) будут проведены все измерения без исключения.

Измерение статического давления по водяному депрессиометру сводится к определению разности высот столбиков воды в правой и левой ветвях  $U$ -образной трубки прибора. Для исключения грубых ошибок измерение следует производить в следующей последовательности:

- от края верхнего столбика воды снять отсчет до отметки «О», например +35 мм;
- от края нижнего столбика воды снять отсчет до отметки «О», например –35 мм;
- сложить абсолютные величины полученных значений, должно получиться 70 мм (разница абсолютных величин полученных значений не должна быть более 1 мм).

### 3.4.4. Динамического давления

Для измерения динамического давления (скоростной напор), которым всегда обладает движущийся поток, в установке предусмотрен микроманометр ММН-240. Он имеет следующее устройство. Базовым (несущим) элементом является рама с тремя точками опоры. Одна из них неподвижная, а две другие выполнены в виде ходовых винтов. Сверху на раме установлены два водяных

уровня, расположенные перпендикулярно относительно друг друга; круглый бачок, заполненный этиловым спиртом, и фиксирующая стойка. Ходовые винты позволяют по показаниям уровней выставить горизонтально раму прибора с достаточной точностью.

Бачок сверху закрыт герметично съемной крышкой с прокладкой. На крышке установлен трехходовой кран и ходовой винт для изменения положения поплавка в бачке. Подвижный поплавок позволяет подстраивать уровень спирта в бачке к нулевой отметке на шкале измерительной трубки.

Высота подстройки до 5 мм, поэтому, если при полностью опущенном поплавке спирт не выходит в измерительную трубку, необходимо вывести поплавок в верхнее положение и добавить в бачок спирт. Если при верхнем положении поплавка спирт в измерительной трубке не опускается до нулевой отметки, то следует часть спирта удалить из бачка.

В рабочем положении кран обеспечивает связь трубки 8 (рис. 1) с полостью бочка, а трубки 9 – с верхним концом измерительной трубки микроманометра. Нижний конец измерительной трубки связан гибким шлангом с выходным штуцером в днище бочка. Сама измерительная трубка выполнена из прозрачного стекла и на внешней поверхности имеет миллиметровую шкалу. Для повышения надежности и безопасности работы с прибором измерительная трубка размещена неподвижно в металлическом кожухе со смотровой щелью. Нижним концом кожух измерительной трубки шарнирно связан с рамой прибора и может поворачиваться в вертикальной плоскости относительно ее на угол  $90^\circ$ . Это дает возможность устанавливать измерительную трубку наклонно и вертикально.

В средней части кожуха измерительной трубки расположен стопор, который частично или полностью охватывает фиксирующую стойку. На стойке по окружности расположены отверстия, что позволяет фиксировать измерительную трубку стопором в любом из шести положений от горизонтального до вертикального.

Перед измерениями по микроманометру следует последовательно выполнить следующие операции:

1 – установить прибор на неподвижную горизонтальную поверх-

- ность, например подоконник или крышку массивного письменного стола;
- 2 – выставить раму прибора горизонтально по показаниям уровней;
  - 3 – зафиксировать измерительную трубку в вертикальном положении и подстроить уровень спирта в бачке к нулевой отметке шкалы;
  - 4 – измерить динамический напор при максимальной производительности вентиляторной установки  $l_{\max}$  (диффузор в рабочем положении, шибер полностью открыт);
  - 5 – разделить  $l_{\max}$  (мм) на 300 и зафиксировать измерительную трубку на ближайшей большей отметке на фиксирующей стойке (0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8), например  $l_{\max} = 80$  мм,  $80/300 = 0,27$ ; фиксируем измерительную трубку на отметке 0,3;
  - 6 – проверить положение уровня спирта в бачке относительно нулевой отметки на шкале прибора и при необходимости внести корректировку.

Измерение динамического давления по микроманометру сводится к снятию отсчета по верхнему краю столбика спирта в измерительной трубке. Для исключения грубых ошибок измерение следует производить при выполнении следующих условий:

- работа вентиляторной установки в установившемся режиме;
- экспериментатор и его окружающие не должны касаться руками и другими частями тела прибора и опоры, на которой он установлен;
- отсчет следует всегда производить по нижней части мениска, которая расположена ближе к измерительной шкале;
- при колебаниях столбика спирта в измерительной трубке, что наблюдается при больших значениях производительности, отсчет следует усреднять по нижнему и верхнему положению.

### 3.4.5. Измерение электрических характеристик

Для определения мощности на валу рабочего колеса (в нашем случае на ступице рабочего колеса, которое установлено на вал двигателя) и расхода электроэнергии в установке используются электрические приборы: амперметр, вольтметр, фазометр.



В лабораторной установке (ауд. 1030) приводной двигатель вентилятора на 0,6 кВт, а нагрузка при максимальной производительности установки не превышает 3 А (во время запуска значительно больше). Поэтому колебаний напряжения в сети при изменениях режима работы установки не происходит и измерения напряжения можно производить только 1–2 раза, в начале и (или) в конце испытаний. В промышленных условиях измерять напряжение рекомендуется для каждого режима вентилятора.

Потребляемая двигателем мощность с увеличением производительности вентилятора изменяется, поэтому измерения величины тока и коэффициента мощности следует производить для каждого установленного режима.

### 3.5. Порядок проведения измерений

Выполнение измерений по приборам необходимо производить одновременно, но последовательность заполнения протокола (табл. 1) на классной доске следует производить в следующем порядке: микроманометр, депрессиометр перед всасывающим патрубком вентилятора, депрессиометр в нагнетающем патрубке вентилятора, амперметр, вольтметр, фазометр. В случае если показания прибора нестационарные, следует усреднять результат с учетом характера колебаний стрелки или столбика жидкости.

Дополнительные сведения о микроманометре:

1. Наклон трубки микроманометра  $\sin\beta =$
2. Относительная плотность жидкости в микроманометре,  $\delta = 0,8$

Результаты измерений параметров атмосферного воздуха:

1. Атмосферное давление (показания барометра)  $P_{ат} =$  гПа
2. Температура атмосферного воздуха  $t_{ат} =$  С°
3. Температура водяного пара  $t_{вп} =$  С°

Дополнительные параметры воздуха, установленные по психрометрическим таблицам:

1. Относительная влажность воздуха  $\varphi =$
2. Плотность водяного пара  $\rho_{вп} \sim \text{кг/м}^3$
3. Давление насыщенного водяного пара  $P_{вп} =$  гПа.

Таблица 1

**Результаты измерений параметров работы  
вентиляторной установки**

№ режима	$\Delta l$ , мм	$h_{13}$ , мм	$h_{13}$ , мм	$I$ , А	$U$ , В	$\cos\phi$ , ед.
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
11.						
12.						
*						

\* - работа установки без диффузора.

## 4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

### 4.1. Плотность воздуха на момент испытания

На момент испытания замеряются барометрическое давление  $P_{ат}$  температура атмосферного воздуха  $t_{ат}$  и температура водяного пара  $t_{вп}$  по психрометру. Относительная влажность воздуха  $\phi$  (ед.) определяется по приложению 1, а давление и плотность насыщенных водяных паров принимаются из приложения 2.

Плотность атмосферного воздуха на момент испытания  $\rho$  определяется по формуле:

$$\rho = \frac{353 \cdot (P_{ат} - P_{вп})}{1013,6 \cdot T_{ат}} + \phi \cdot \rho_{вп}, \quad (1)$$

где 353 – расчетный коэффициент, учитывающий плотность сухого атмосферного воздуха при стандартном давлении 1013,6 гПа и температуре 273 К, кг·К/м;

$P_{ат}$  – атмосферное давление во время испытания вентилятора, гПа;

$P_{вп}$  и  $\rho_{вп}$  – давление и плотность насыщенных водяных паров при температуре воздуха во время испытания, гПа и кг/м<sup>3</sup>;

$T_{ат} = (273 + t_{ат})$  – температура атмосферного воздуха, К.

Для перевода показаний ртутного барометра в гектопаскали необходимо умножить на коэффициент 1,334, т.к. 1 мм рт.ст. = 1,334 гПа.

#### 4.2. Производительность вентилятора

Производительность вентилятора это произведение средней скорости потока  $v_{ср}$  (м/с) в вентиляционном трубопроводе на площадь его поперечного сечения  $F_{тр}$  (м<sup>2</sup>):

$$Q = v_{ср} \cdot F_{тр}. \quad (2)$$

Скорость потока с использованием микроманометра и пневмометрической трубки определяется по формуле:

$$v_{ср} = K_{п} \cdot \left( \frac{2 \cdot P_{д}}{\rho} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

где  $P_{д}$  – динамическое давление, измеренное прибором в центре трубопровода, Па;

$K_{п}$  – коэффициент скоростного поля, ед.

Коэффициентом скоростного поля называется отношение средней скорости потока к скорости в точке измерения динамического давления.

При измерении динамического давления в центре трубы, где скорость потока максимальная и расстояние от шибера до трубок Пито не менее десяти диаметров трубопровода,  $K_{п} = 0,94$ .

При использовании микроманометра с наклонной шкалой динамическое давление определяется как:

$$P_{д} = g \cdot \Delta l \cdot \rho_{ж} \cdot \sin \beta, \quad (4)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$\Delta l$ – отсчет по микроманометру, м;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости в микроманометре,  $\rho_{\text{ж}} = 800 \text{ кг/м}^3$ ;

$\beta$ – угол наклона трубки микроманометра, град.

Скорость воздушного потока в сети можно измерить анемометром. Его применяют для определения скорости воздушного потока в вентиляционных каналах и выработках с поперечным сечением в сотни раз большим, чем у прибора. Средняя скорость потока за некоторый промежуток времени измерений по анемометру определяется как:

$$v_{\text{ср}} = \frac{m \cdot (a_2 - a_1)}{t}, \quad (5)$$

где  $m$ – переводной или масштабный коэффициент по паспорту анемометра, м/ед.;

$a_2$  и  $a_1$ – показания анемометра конечное и начальное, ед. (оборот);

$t$ – продолжительность измерения скорости потока воздуха анемометром, с.

#### 4.3. Давление вентилятора

При работе вентилятора на всасывание (главные вентиляторные установки) динамическое давление представляет собой потери на выходе из диффузора, поэтому рабочий режим вентилятора определяют по характеристике  $P_{\text{ст}}$  и экономичность работы вентиляторной установки оценивают статическим КПД. Полное давление в этом случае оценивается (см. рис. 3) как:

$$P = P_{\text{ст}} - P_{\text{д}}. \quad (6)$$

На рис. 3 хорошо показано, что статическое давление рассеивается потоком воздуха как во всасывающей части внешней сети вентилятора - в трубопроводе, так и в нагнетательной - напорный патрубок и диффузор. Поэтому для определения статического давления, создаваемого собственно вентилятором, необходимо суммировать значения статических давлений перед всасывающим патрубком и сразу за напорным патрубком. Для повышения точности определения статического давления вентилятора

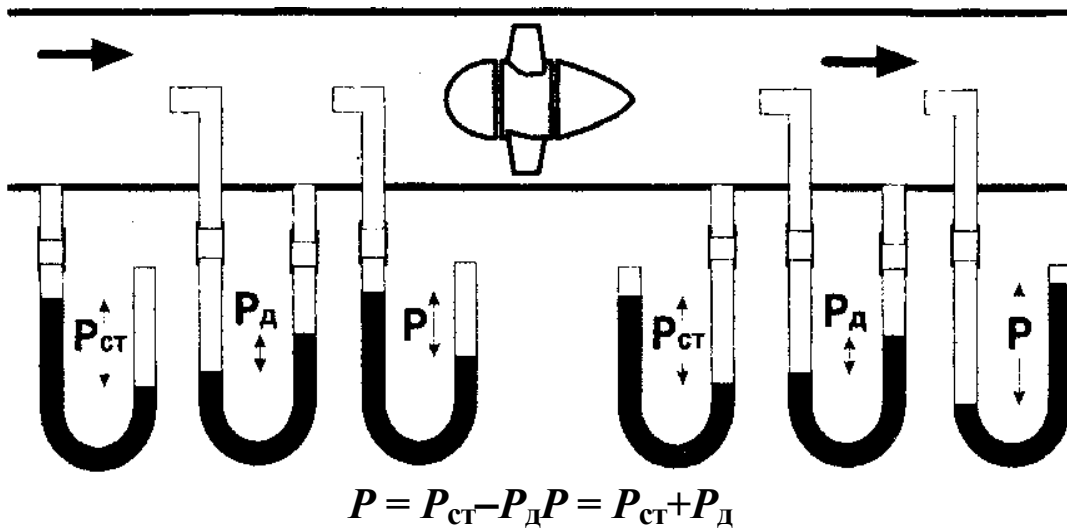


Рис.3. Схема измерения давлений в потоке воздуха

необходимо учитывать местоположение штуцера (–) по длине трубопровода (см. рис. 1). В общем случае, по мере удаления потока воздуха от вентилятора, независимо с какой стороны, статическое давление уменьшается из-за гидравлических потерь. При работе вентилятора на нагнетание динамическое давление относится к потерям вентиляционной сети, а полное давление определяется по формуле:

$$P = P_{\text{ст}} - P_{\text{д}}. \quad (7)$$

Статическое давление во всасывающей части внешней сети  $P_{\text{ст}14}$  измеряется депрессиометром 14 (см. рис. 1), который заполнен водой. Величина  $P_{\text{ст}14}$  определяется по формуле:

$$P_{\text{ст}14} = g \cdot h_{14} \cdot \rho_{\text{в}}, \quad (8)$$

где  $h_{14}$  и  $h_{13}$  – разность уровней воды в трубках депрессиометра 14 и 13 (см. рис. 1), м;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воды, следует принять  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

Статическая составляющая давления в нагнетающей части внешней сети  $P_{\text{ст}13}$  измеряется депрессиометром 13 и равна:

$$P_{\text{ст}13} = g \cdot h_{13} \cdot \rho_{\text{в}}. \quad (9)$$

Полное статическое давление, создаваемое рабочим колесом вентилятора во всасывающей и нагнетательной части внешней сети, определяется как сумма:

$$P_{CT} = P_{CT13} + P_{CT14}. \quad (10)$$

Динамическая составляющая давления, создаваемая вентилятором:

$$P_D = \frac{\rho \cdot v_{CP}^2}{2}. \quad (11)$$

#### 4.4. Мощность и КПД установки

Полезная мощность по полному давлению:

$$N = \frac{Q \cdot P}{1000}. \quad (12)$$

Мощность по статическому давлению:

$$N_{CT} = \frac{Q \cdot P_{CT}}{1000}. \quad (13)$$

Мощность на валу вентилятора (потребляемая из сети):

$$N_B = \frac{(1,723 \cdot U \cdot I \cdot \eta_{ДВ} \cdot \cos\varphi)}{1000}, \quad (14)$$

где  $U$  и  $I$  – линейное напряжение и сила тока двигателя, В и А;  
 $\cos\varphi$  и  $\eta_{ДВ}$  – коэффициент мощности и КПД двигателя вентилятора, ед.

Статический КПД вентилятора:

$$\eta_{CT} = \frac{N_{CT}}{N_B}. \quad (15)$$

Полный КПД вентилятора:

$$\eta = \frac{N}{N_B}. \quad (16)$$

## 5. ПРИВЕДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ К СТАНДАРТНЫМ АТМОСФЕРНЫМ УСЛОВИЯМ

Рабочие характеристики вентиляторной установки, полученные в разное время, будут отличаться, т.к. на них оказывает влияние плотность воздуха. Для сравнения индивидуальных рабочих характеристик, полученных при испытаниях в разных атмосферных условиях, параметры режима работы установки пересчитываются к стандартным значениям атмосферы.

Стандартные атмосферные условия характеризуются следующими параметрами:

барометрическое давление	- 1013,6 гПа,
температура	- 293 К,
относительная влажность	- 50%,
плотность	- 1,206 кг/м <sup>3</sup> .

Приведение результатов испытания к стандартным условиям производится по формулам:

$$Q' = Q, \quad (17)$$

$$P' = \frac{P \cdot \rho_{ст}}{\rho}, \quad (18)$$

$$N' = \frac{N \cdot \rho_{ст}}{\rho}, \quad (19)$$

$$\eta' = \eta, \quad (20)$$

где  $Q'$ ,  $P'$ ,  $N'$  и  $\eta'$  – параметры режима работы вентилятора, приведенные к стандартным атмосферным условиям, производительность, давление, мощность и КПД;

$\rho_{ст}$  – плотность воздуха при стандартных атмосферных условиях, кг/м<sup>3</sup>.

Результаты расчетов рабочих параметров вентиляторной установки заносят в табл. 2. При испытании лабораторной вентиляторной установки перерасчет параметров к стандартным атмосферным условиям можно не производить.

Таблица 2

**Результаты расчетов рабочих параметров  
вентиляторной установки**

№ №	$v_{\text{ср}}$ м/с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$P_{\text{ст13}}$ , Па	$P_{\text{ст14}}$ , Па	$P_{\text{д}}$ , Па	$N$ , кВт	$N_{\text{ст}}$ , кВт	$N_{\text{в}}$ , кВт	$\eta_{\text{ст}}$ , ед.	$\eta$ , ед.
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										
6.										
7.										
8.										
9.										
10.										
11.										
12.										
*										

При необходимости выполняют и обратную задачу – пересчитывают паспортные характеристики вентилятора для стандартных атмосферных условий на заданные условия. Это в первую очередь важно для условий с большим давлением и меньшей влажностью воздуха.

## 6. ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Графики действительных индивидуальных характеристик вентилятора следует выполнить на отдельном листе бумаги в клеточку или на миллиметровке формата А4. Для каждого графика должны быть нанесены все экспериментальные точки, даже те точки, которые по каким-либо причинам не учитывались при аппроксимации. Об этом в отчете должна быть сделана запись с пояснениями и расчетами.

Графики должны занимать всю ширину листа с учетом размеров стандартных полей. Графики следует располагать один под другим по всей высоте листа, с соблюдением полей, без наложения экспериментальных точек и пересечения характеристик (см.



пример на рис. 2). Характеристика  $P_{\text{СТ}}(Q)$  должна занимать 0,4–0,5 высоты листа, две других – примерно в равных долях.

Шкалы графиков должны быть линейными и иметь значения через 1–2 клетки (5–10 мм). Они должны иметь обозначения рабочих параметров насоса и единицы измерения. Толщина линии для шкалы должна быть 0,8–1 мм. Толщина линий координатной сетки – 0,3–0,5 мм. Толщина линий графиков – 2–3 мм.

В нижней части этого листа должна быть запись с номером и наименованием рисунка.

## 7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Перед выполнением лабораторной работы каждый студент должен получить инструктаж по технике безопасности от руководителя испытаниями и расписаться в журнале ТБ.

Включение и выключение вентиляторной установки производится по команде руководителя испытаний.

В случае появления посторонних звуков в вентиляторе или двигателе лабораторной установки и при запахе гари немедленно нажать кнопку «Стоп» (красная кнопка на кнопочном посту управления) и поставить в известность руководителя испытаний.

## 8. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

По результатам проведения испытаний каждый студент самостоятельно составляет отчет в виде расчетно-пояснительной записки в соответствии с требованиями ЕСКД.

Содержание отчета:

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи испытаний.
3. Техническая характеристика вентиляторной установки и ее схема с измерительными приборами.
4. Методика обработки результатов измерений.
5. Результаты измерений параметров атмосферного воздуха.
6. Таблица 1 «Результаты измерений параметров работы вентиляторной установки».

7. Расчет одного режима работы вентиляторной установки с приведением формул, численных значений параметров и их размерностей.
8. Таблица 2 «Результаты вычислений параметров работы вентиляторной установки».
9. Действительные индивидуальные характеристики вентиляторной установки построить на отдельном листе бумаги формата А4 по результатам вычислений.
10. Вывод: 1–0 целесообразности эксплуатации вентилятора; 2–0 целесообразности использования диффузора в установке.

При записи вывода необходимо выполнять следующие правила:

- наличие двух частей – мотивирующей и постановляющей (могут располагаться в любой последовательности);
- лаконичное изложение обеих частей (без вступлений, причастных и деепричастных оборотов и т.п.);
- изложение простым языком с использованием общепринятой терминологии, обозначений и сокращений для данного направления техники (в том числе использованных и в самом отчете);
- формулировки должны исключать возможность их многозначного толкования;
- редакция должна исключить необходимость выполнения даже простейших расчетов для подтверждения правильности вывода;
- вывод должен быть не более трех строк машинописного текста.

Отчет по испытанию вентиляторной установки необходимо подготовить к следующему практическому занятию, на котором будет проходить его защита.

## 9. ЗАЩИТА ОТЧЕТА И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Каждый студент защищает свой отчет по испытанию вентиляторной установки, самостоятельно отвечая на вопросы преподавателя письменно или устно. Для успешной защиты следует знать: устройство установки, устройство и правила пользования измерительными приборами, методику проведения испытаний и

обработки результатов измерений. Студент должен уметь анализировать полученные результаты и быть готовым к их защите. Для подготовки к защите лабораторной работы ниже приводятся контрольные вопросы, которые следует проработать.

## 10. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие параметры определяют плотность воздуха?
2. Как выполнить измерения и определить  $v_{\text{ср}}$  в трубопроводе?
3. Как выполнить измерения и определить  $\varphi$  воздуха?
4. Как выполнить измерения и определить статическое давление вентилятора?
5. Как выполнить измерения и определить динамическое и полное давление вентилятора?
6. Как выполнить измерения и определить среднюю скорость воздуха в горной выработке большого сечения?
7. Как вычисляется мощность на валу вентилятора?
8. Как вычисляется полная и статическая мощность вентилятора?
9. Как вычисляется статический и полный КПД вентилятора?
10. Почему результаты испытания вентилятора необходимо приводить к нормальным (стандартным) атмосферным условиям?
11. Какие атмосферные условия принято считать нормальными?
12. Проведите анализ действительных характеристик вентилятора (напора, мощности и КПД от производительности).
13. Какие приборы используются при испытании вентилятора?
14. Какое устройство имеет микроманометр?
15. Какой жидкостью заполнен микроманометр и почему?
16. Как далеко от шибера следует устанавливать пневматическую трубку Пито для измерений скорости воздуха в трубопроводе?
17. Почему плотность атмосферного воздуха уменьшается при увеличении относительной влажности?
18. Почему при испытаниях вентилятора главного проветривания на шахтах не используют анемометры?

19. Указать область применения крыльчатого анемометра.
20. Указать область применения чашечного анемометра.
21. Как далеко от вентилятора следует устанавливать в трубопроводе пневматическую трубку Пито для измерения статического давления?
22. Обязательно ли устанавливать пневматическую трубку Пито для измерения скорости воздуха строго по оси трубопровода?
23. Какой физический смысл имеет коэффициент  $K_{\Pi}$ ?
24. Как влияет относительная влажность воздуха на производительность вентилятора?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришко, А. П. Рудничные водоотливные, вентиляторные и пневматические установки. Т. 2 : учебник для вузов / А. П. Гришко. – М.: Изд. МГГУ, 2007. – 585 с.
2. Гришко, А. П. Стационарные машины и установки: учеб. пособие для вузов по специальности «Горные машины и оборудование» / А. П. Гришко, В. И. Шелоганов. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004. – 328 с.
3. Баранников, Н. М. Практикум по стационарным установкам / Н. М. Баранников, Г. С. Балабанов. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1987. – 176 с.
4. ГОСТ 31353.3-2007 Вентиляторы промышленные. Определение уровней звуковой мощности в лабораторных условиях. – М.: Стандартинформ, 2008. – 132 с.

## Приложение 1

Таблица относительной влажности воздуха (%)

$t_{\text{вп}}, ^\circ\text{C}$	Разность показаний сухого и влажного термометров									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	84	70	57	46	36	28	20	14	–	–
5	85	71	59	48	39	30	23	17	10	–
6	85	72	61	50	41	33	26	19	13	–
7	86	73	62	52	43	35	28	22	15	11
8	86	74	63	54	45	37	30	25	18	14
9	86	75	65	55	47	39	32	27	21	17
10	87	76	66	57	48	41	34	28	23	19
11	88	77	67	58	50	43	36	30	25	20
12	88	78	68	59	52	44	38	32	27	22
13	89	78	69	59	53	46	40	34	29	24
14	89	79	70	62	54	47	41	36	31	26
15	89	80	71	63	55	49	43	37	33	28
16	90	80	72	64	57	50	44	39	34	30
17	90	81	73	65	58	52	46	40	36	31
18	90	81	74	66	59	53	47	42	37	33
19	91	82	74	66	60	54	48	43	39	34
20	91	82	75	67	61	55	49	44	40	35
21	91	83	75	67	62	56	50	45	41	36
22	92	83	76	68	62	56	50	45	41	36
23	92	84	76	69	63	57	51	46	42	37
24	92	84	77	69	63	57	51	46	42	37
25	92	84	77	70	64	58	52	47	43	38
26	92	85	78	71	64	58	52	47	43	38
27	92	85	78	71	65	59	53	48	44	39
28	93	85	78	72	65	59	53	48	44	39
29	93	86	79	72	66	60	54	49	45	40
30	93	86	79	73	67	61	55	50	46	41

$t_{\text{вп}}$  – показание влажного термометра

## Приложение 2

## Насыщенный водяной пар

Температура атмосферно- го воздуха, °С	Абсолютное давление водя- ного пара			Плотность водяного пара, кг/м <sup>3</sup>
	мм рт. ст.	гПа	кгс/см <sup>2</sup>	
0	4,58	6,11	0,00622	0,00484
2	5,29	7,06	0,00718	0,00557
4	6,1	8,14	0,00828	0,00637
6	7,01	9,35	0,00950	0,00726
8	8,05	10,73	0,0109	0,00828
10	9,21	12,28	0,0125	0,00941
11	9,84	13,12	0,0134	0,01003
12	10,52	14,03	0,0143	0,01067
13	11,23	14,98	0,0153	0,01138
14	11,99	15,99	0,0163	0,01205
15	12,79	17,05	0,0174	0,01383
16	13,64	18,19	0,0186	0,01366
17	14,5	19,33	0,0197	0,01499
18	15,5	20,67	0,0211	0,01536
19	16,5	22,00	0,0224	0,01629
20	17,5	23,33	0,0238	0,01730
21	18,6	24,80	0,0254	0,01830
22	19,8	26,40	0,0270	0,01940
23	21,1	28,13	0,0287	0,02060
24	22,4	29,87	0,0305	0,02180
25	23,8	31,73	0,0324	0,02300
30	31,8	42,40	0,0433	0,03030
40	55,3	73,73	0,0752	0,05120
50	92,5	123,06	0,1255	0,08300
60	149,4	199,19	0,2031	0,13000
70	233,7	311,59	0,3163	0,19800
80	355,1	473,45	0,4827	0,29300
90	525,8	701,05	0,7153	0,42400
100	760,0	1013,0	1,0000	0,59800