

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»

В.И. Горшков, С.В. Баканова, К.О. Чичиров

ВЕНТИЛЯЦИЯ

Практикум

Рекомендовано в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по специальности 270109
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
направления 270100 «Строительство»

Пенза 2013

УДК 697.921, 452+621. 65(075.8)

ББК 38.672.2+31.76+31.56я73

Г70

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент
И.М. Квашнин;
кандидат технических наук,
профессор А.Г. Аверкин

Горшков В.И.

Г70

Вентиляция. Практикум: учеб. пособие / В.И. Горшков,
С.В. Баканова, К.О. Чичиров. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 87 с.

Изложены основы наладки и эксплуатации вентиляционных систем. Рассмотрены параметры и свойства воздуха, основы аэродинамики, работа вентиляторов и насосов. Приведена методика проведения лабораторных работ (с элементами НИРС) по курсам «Вентиляция», «Насосы и вентиляторы».

Практикум подготовлен на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции и предназначен для использования студентами специальности 270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция» при изучении дисциплины «Вентиляция», «Насосы и вентиляторы» очной и заочной форм обучения.

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2013

© Горшков В.И., Баканова С.В.,
Чичиров К.О., 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем учебном пособии обобщен опыт проведения лабораторных занятий со студентами по курсу «Вентиляция» на кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства.

Лабораторный практикум подготовлен с учетом современной методологии в области создания микроклимата помещений и обеспечения технического уровня оборудования, производимого отечественными и зарубежными фирмами. Здесь также рассмотрены лабораторные стенды для выполнения лабораторных работ.

Перечень и содержание лабораторных работ, приведенных в настоящем учебном пособии, соответствует типовой программе подготовки специалистов по специальности 270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция».

В описании лабораторной работы приведены: цель работы; краткие теоретические сведения по рассматриваемой проблеме; перечень приборов и принадлежностей, используемых при выполнении опытов; устройство и принцип действия лабораторной установки (стенда); последовательность выполнения экспериментальных исследований; порядок обработки их результатов и форма представления.

В конце каждой лабораторной работы даны контрольные вопросы для самоподготовки.

Выполненная лабораторная работа должна быть оформлена в соответствии с требованиями внутреннего стандарта, после чего преподаватель проводит собеседование.

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте по технике безопасности и противопожарным мероприятиям.

ВВЕДЕНИЕ

Подготовка студентов к выполнению лабораторных работ должна осуществляться заблаговременно – вне лаборатории. За неделю до проведения лабораторной работы преподаватель выдаёт студентам методические указания. На первом лабораторном занятии студентов знакомят с вентустановками и с общими правилами техники безопасности, характерными для условий данной лаборатории. После инструктажа студенты расписываются в лабораторном журнале по ТБ.

Наиболее целесообразной является такая форма организации лабораторных занятий, когда минимальное количество студентов самостоятельно выполняет лабораторную работу. Количество студентов, одновременно работающих в лаборатории, должно быть не более 15 человек. При этом все студенты условно разделяются на несколько рабочих звеньев по 3...5 человек с целью выполнения каждым звеном одной из запланированных работ. Каждую последующую лабораторную работу студенты выполняют только после сдачи отчета по предыдущей.

В конце занятия студенты сообщают преподавателю результаты экспериментальных измерений и получают визу преподавателя.

Для получения зачета по отработанной лабораторной работе каждый студент оформляет отчет и сдает его преподавателю на проверку. Предусматривается индивидуальное собеседование преподавателя со студентом по содержанию представленного им отчета и ответов на контрольные вопросы.

Методика проведения лабораторных занятий направлена на развитие у студентов навыков научно-исследовательской работы, которую рекомендуется проводить по одному из следующих направлений:

1. Изучение характеристик новых конструктивных элементов и узлов систем вентиляции.
2. Исследование комплексного взаимодействию существующих или вновь разработанных элементов, узлов и устройств вентиляционных установок.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ

Цель работы – изучить устройство и принцип действия приборов, предназначенных для измерения температуры, относительной влажности и подвижности воздуха; научиться измерять нормируемые параметры воздуха; по результатам измерений и сравнения их с нормативами (ГОСТ 12.1.005–88 и СН 245–71) составить санитарно-гигиеническое заключение и рекомендации по улучшению состояния воздуха в помещении.

Содержание работы:

1. В работе приведены сведения об основных параметрах воздуха и приборах для их определения.
2. Дана последовательность измерения основных параметров воздуха.
3. Изложена методика выполнения работы.
4. Приведены вопросы для самооценки.
5. Указаны пути достижения комфортных условий.
6. Литература.

ПРИБОРЫ

Для измерения температуры воздуха применяют ртутные или спиртовые термометры со шкалой Цельсия (рис. 1.1).

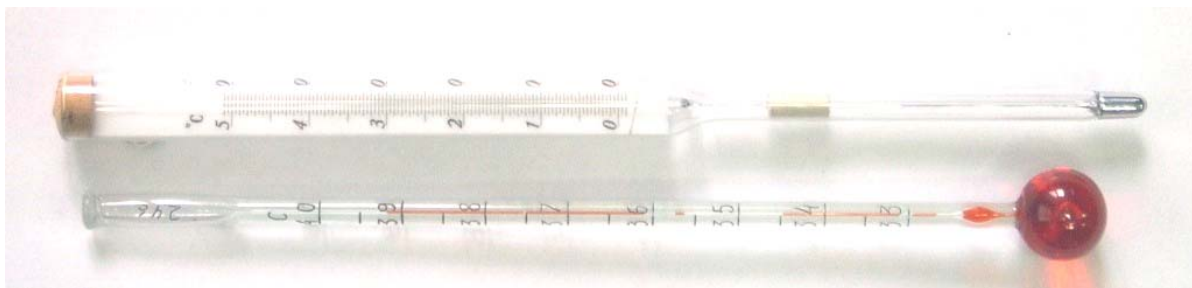


Рис. 1.1 Термометры

Ртутные термометры получили наибольшее распространение. Спирт при нагревании выше 0°C расширяется не равномерно; поэтому спиртовые термометры менее точны. При лабораторных исследованиях температуру воздуха измеряют термометрами с ценой деления $0,2^{\circ}\text{C}$. Измерение температуры воздуха в помещениях производят по сухому термометру психрометра. При детальном изучении колебаний температуры воздуха возникает необходимость в регистрации пределов колебаний температуры воздуха в течение суток или недели. В этом

случае применяют самопишущие приборы-термографы. Чувствительной частью (датчиком) термографа является изогнутая биметаллическая пластина, изменяющая свою кривизну в зависимости от изменения температуры.

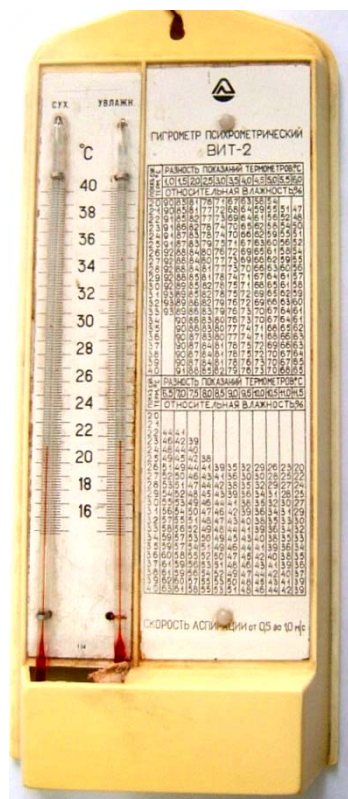


Рис. 1.2. Психрометр Августа

Относительную влажность воздуха определяют с помощью психрометров. Обычный психрометр Августа состоит из двух одинаковых жидкостно-стеклянных термометров, прикрепленных к монтажной доске (рис 1.2). Резервуар правого термометра обернут батистовым чехольчиком, конец которого находится в чашечке баллона, заполненного водой, и этот термометр называется смоченным (мокрым). Показания сухого и смоченного термометров будут разными, так как вследствие испарения воды с поверхности батиста резервуар второго термометра будет охлаждаться. Пользуясь психрометром Августа, значения относительной влажности определяют по таблицам, размещенным на приборе. Психрометр Августа обладает рядом недостатков, к ним относят: подверженность влиянию теплового излучения; зависимость показаний от подвижности воздуха вследствие увеличивающейся интенсивности испарения с поверхности батиста и др. Этих недостатков не имеет аспирационный психрометр Ассмана (рис.1.3), который состоит из двух одинаковых паковых ртутных термометров, закреплённых в специальной оправе. Прибор имеет заводной механизм с вентилятором, создающим движение воздуха около резервуаров термометров. Последние помещены в двойную трубчатую защиту, а сами термометры защищены от механических повреждений щитками. Все металлические части покрыты никелем для защиты от теплового излучения. Резервуар

Психрометр Августа, значения относительной влажности определяют по таблицам, размещенным на приборе. Психрометр Августа обладает рядом недостатков, к ним относят: подверженность влиянию теплового излучения; зависимость показаний от подвижности воздуха вследствие увеличивающейся интенсивности испарения с поверхности батиста и др. Этих недостатков не имеет аспирационный психрометр Ассмана (рис.1.3), который состоит из двух одинаковых паковых ртутных термометров, закреплённых в специальной оправе. Прибор имеет заводной механизм с вентилятором, создающим движение воздуха около резервуаров термометров. Последние помещены в двойную трубчатую защиту, а сами термометры защищены от механических повреждений щитками. Все металлические части покрыты никелем для защиты от теплового излучения. Резервуар

Резервуар правого термометра обернут батистовым чехольчиком, конец которого находится в чашечке баллона, заполненного водой, и этот термометр называется смоченным (мокрым).

Показания сухого и смоченного термометров будут разными, так как вследствие испарения воды с поверхности батиста резервуар второго термометра будет охлаждаться. Пользуясь психрометром Августа, значения относительной влажности определяют по таблицам, размещенным на приборе. Психрометр Августа обладает рядом недостатков, к ним относят: подверженность влиянию теплового излучения; зависимость показаний от подвижности воздуха вследствие увеличивающейся интенсивности испарения с поверхности батиста и др. Этих недостатков не имеет аспирационный психрометр Ассмана (рис.1.3), который состоит из двух одинаковых паковых ртутных термометров, закреплённых в специальной оправе. Прибор имеет заводной механизм с вентилятором, создающим движение воздуха около резервуаров термометров. Последние помещены в двойную трубчатую защиту, а сами термометры защищены от механических повреждений щитками. Все металлические части покрыты никелем для защиты от теплового излучения. Резервуар



Рис 1.3. Психрометр Ассмана

правого термометра обернут батистовым чехольчиком, который смачивается водой из специальной пипетки. Термометры у психрометра Ассмана в момент измерения находятся в движущемся с постоянной скоростью ≈ 4 м/с воздушном потоке, который создается вентилятором психрометра. Промышленность выпускает психрометры Августа типа ПБ-1 и аспирационные психрометры типа МВ-4М с механическим или электрическим приводом. Диапазон точных измерений относительной влажности находится в пределах 10...100 % при температуре от + 10 до + 40°С.

Для записи изменения относительной влажности воздуха во времени пользуются суточными и недельными гигрографами (диапазон измерений от 3 до 100 % при температуре от –35 до +45 °С). Чувствительным элементом (датчиком) гигрографа М-21 (рис. 1.4) является пучок обезжиренных человеческих волос, укрепленных на рамке.

Гигрограф М-32 отличается от гигрографа М-21 конструкцией чувствительного элемента, который представляет собой круглую мембрану, выполненную из специально обработанной гигроскопической органической пленки.

Для измерения скорости движения воздуха в помещениях используют приборы, которые называют анемометрами. На практике применяют: анемометры крыльчатые типа АСО-3 (рис.1.5), чашечные типа МС-13 (рис. 1.6) и электрические.

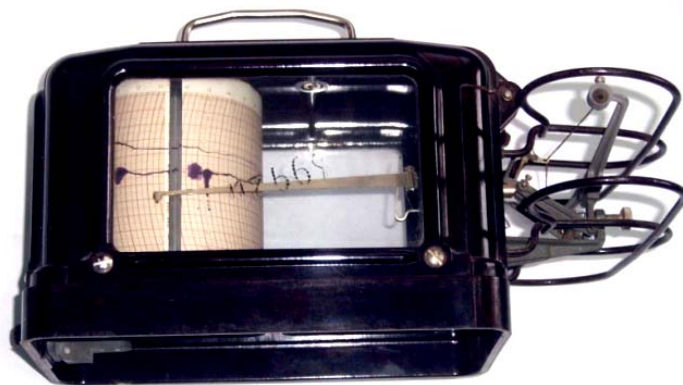


Рис.1.4. Гигрограф



Рис.1.5 Анемометр крыльчатый



Рис.1.6 Анемометр чашечный

Для измерения малых скоростей движения воздуха в помещениях используют термоанемометры типа ЭА-2М, предназначенные для измерения температуры от $+10$ до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорости движения воздуха в пределах от 0 до 5 м/с . Для измерения атмосферного давления применяют барометр-анероид. Регистрацию колебания атмосферного давления во времени осуществляют с помощью прибора-барографа (рис.1.7).

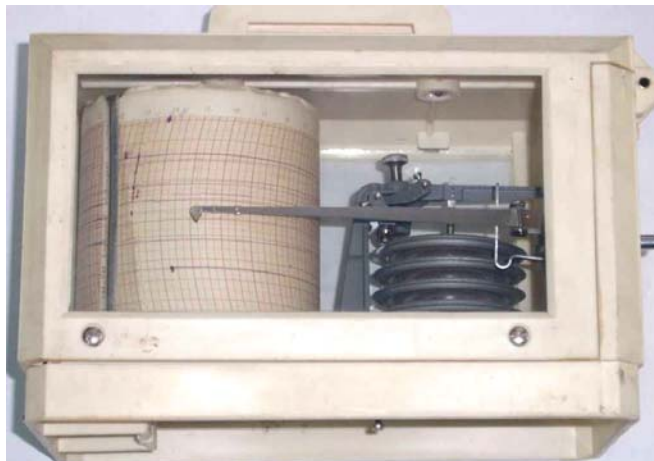


Рис. 1.7 Барограф

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерение температуры воздуха

Для измерения температуры воздуха внутри помещения термометр устанавливают на высоте $1,5\text{ м}$ от пола, вдали от холодных наружных ограждений и оборудования, излучающего тепло, вне зоны действия приточных струй и солнечных лучей. С момента установки термометра в точке измерения до снятия показания должно пройти 10 мин . Перед измерением термометр закрепляют на металлической или деревянном штативе так, чтобы глаз наблюдателя находился на уровне отсчета. При работе с ртутными термометрами отсчет производят по выпуклой части мениска, при работе со спиртовыми – по вогнутой части.

Выбор точек, в которых определяют температуру, зависит от поставленной задачи. При определении температурного режима в помещениях производят измерения не менее чем в шести точках (три по горизонтали и три по вертикали). По горизонтали термометры устанавливают на расстоянии $0,5\text{ м}$ от наружной стены (или нагревательного прибора), посередине помещения и на расстоянии $0,5\text{ м}$ от противоположной стены. По вертикали термометры располагают на высоте: $0,1$; $1,0$; $1,5\text{ м}$ от пола. Чтобы получить среднюю температуру в помещении, показания термометров суммируют и делят на число измерений.

Среднесуточную температуру воздуха получают из отдельных измерений, выполненных через равные промежутки времени утром, днем, вечером и ночью.

При необходимости постоянного наблюдения за измерением температуры воздуха используют самопишущие приборы (термографы).

Температуру воздуха измеряют в градусах Цельсия (°C) или градусах Кельвина (К). Данные замеров записывают в табл. 1.1.

Т а б л и ц а 1.1

Определение средней температуры воздуха

Место измерения	Показания термометров, °C						$\Sigma t, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{cp}}=\Sigma t/6, ^\circ\text{C}$
	по горизонтали, м			по вертикали, м				
	0,2	центр	0,2	0,2	1,0	1,5		

2. Измерение относительной влажности

На практике состояние воздуха в помещении характеризуют абсолютной и относительной влажностью.

Абсолютная влажность – это упругость (парциальное давление) водяных паров в момент исследования, выраженная в мм рт. ст. (или Па). Абсолютную влажность вычисляют с учетом типа прибора. При использовании психрометра Августа абсолютную влажность воздуха определяют по формуле

$$R = f - A(t_c - t_b)B,$$

где R – абсолютная влажность воздуха, мм рт. ст.;

f – максимальная упругость водяных паров при температуре влажного термометра, мм рт. ст., значения которой принимают по табл. 1.2;

t_c – температура по сухому термометру, °C;

t_b – температура по влажному термометру, °C;

B – барометрическое давление, мм рт. ст.;

A – психрометрический коэффициент, учитывающий влияние подвижности воздуха в помещении на показания термометра, принимают по табл. 1.3.

Значения психрометрического коэффициента могут быть подсчитаны по формуле

$$A = 0,00001 \times \left(65 + \frac{6,75}{V} \right),$$

где V – подвижность воздуха в помещении, м/с, или определены по табл. 1.3.

Т а б л и ц а 1.2

Значения максимальной упругости водяного пара f , мм рт. ст., для различных температур при $t = t_{\text{в}}$ и $B = 760$ мм рт. ст. (101325 н/м^2)

$t, ^\circ\text{C}$	f	$t, ^\circ\text{C}$	f	$t, ^\circ\text{C}$	f	$t, ^\circ\text{C}$	f	$t, ^\circ\text{C}$	f	$t, ^\circ\text{C}$	f
6	7,01	11	9,84	16	13,63	21	18,65	26	25,3	31	33,70
7	7,51	12	10,5	17	14,53	22	19,83	27	26,7	32	35,66
8	8,05	13	11,2	18	15,48	23	21,07	28	28,3	33	37,73
9	8,61	14	11,9	19	16,48	24	22,38	29	30,0	34	39,90
10	9,21	15	12,7	20	17,54	25	23,76	30	31,8	35	42,18

Т а б л и ц а 1.3

Значения психрометрического коэффициента A

Подвижность воздуха, м/с	A	Подвижность воздуха, м/с	A
0,1	0,00133	0,40	0,00090
0,13	0,00130	0,80	0,00080
0,16	0,00120	2,30	0,00070
0,20	0,00110	3,00	0,00069
0,30	0,00100	4,00	0,0067

При использовании аспирационного психрометра Ассмана абсолютную влажность определяют по формуле:

$$R = f - 0,5(t_c - t_v) \frac{B}{755},$$

где R – абсолютная влажность воздуха, мм рт. ст.;

f – максимальная упругость водяных паров при температуре влажного термометра, мм рт. ст., значения которой принимают по табл. 1.2;

0,5 – постоянный психрометрический коэффициент;

B – барометрическое давление в момент проведения исследования, мм рт. ст.;

755 – среднее барометрическое давление, мм рт. ст.

Относительной влажностью воздуха называют отношение абсолютной влажности воздуха к максимальной упругости водяных паров при данной температуре и барометрическом давлении:

$$\varphi = \frac{R}{f_c} 100 \%,$$

где R – абсолютная влажность воздуха, мм. рт. ст.;

f_c – максимальная упругость водяных паров при температуре сухого термометра мм рт. ст., величину которой принимают по табл. 1.4.

Значения максимальной упругости водяного пара f_c , мм рт. ст., для различных температур при $t = t_c$ и при $B = 760$ мм рт. ст. (101325 н/м^2).

Т а б л и ц а 1.4

$t, ^\circ\text{C}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	4,58	4,61	4,65	4,68	4,75	4,75	4,79	4,82	4,82	4,89
1	4,93	4,96	5,00	5,03	5,11	5,11	5,14	5,18	5,26	5,26
2	5,29	5,33	5,87	5,41	5,45	5,49	5,53	5,57	5,61	5,65
3	5,69	5,73	5,77	5,81	5,85	5,89	5,93	5,97	6,20	6,26
4	6,10	6,14	6,19	6,23	6,27	6,32	6,36	6,41	6,45	6,50
5	6,54	6,59	6,64	6,68	6,73	6,78	6,82	6,87	6,92	6,97
6	7,01	7,06	7,11	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,41	7,46
7	7,51	7,57	7,62	7,67	7,72	7,78	7,83	7,88	7,94	7,99
8	8,05	8,10	8,16	8,21	8,27	8,32	8,38	8,44	8,49	8,55
9	8,61	8,67	8,73	8,79	8,85	8,91	8,97	9,03	9,09	9,15
10	9,21	9,27	9,33	9,40	9,46	9,52	9,59	9,65	9,71	9,78
11	9,84	9,91	9,98	10,04	10,11	10,18	10,24	10,31	10,38	10,45
12	10,52	10,59	10,66	10,73	10,80	10,87	10,94	11,01	11,09	11,16
13	11,23	11,31	11,38	11,45	11,53	11,60	11,68	11,76	11,83	11,91
14	11,99	12,07	12,14	12,22	12,30	12,38	12,46	12,54	12,62	12,71
15	12,79	12,87	12,95	13,04	13,12	13,21	13,29	13,38	13,46	13,55
16	13,63	13,72	13,81	13,90	13,99	14,08	14,17	14,26	14,35	14,44
17	14,53	14,62	14,72	14,81	14,90	15,00	15,09	15,19	15,28	15,38
18	15,48	15,58	15,67	15,77	15,87	15,97	16,07	16,17	16,27	16,37
19	16,48	16,58	16,69	16,79	16,89	17,00	17,11	17,21	17,32	17,43
20	17,54	17,64	17,75	17,86	17,97	18,09	18,20	18,31	18,42	18,54
21	18,65	18,77	18,88	19,00	19,11	19,23	19,35	19,47	19,59	19,71
22	19,83	19,95	20,07	20,19	20,32	20,44	20,57	20,69	20,82	20,94
23	21,07	21,20	21,32	21,45	21,58	21,71	21,85	21,98	22,11	22,24
24	22,38	22,51	22,65	22,79	22,92	23,06	23,20	23,34	23,48	23,62
25	23,76	23,90	24,04	24,18	24,33	24,47	24,62	24,76	24,91	25,06
26	25,31	25,36	25,51	25,66	25,81	25,96	26,12	26,27	26,46	26,58
27	26,74	26,90	27,06	27,21	27,37	27,54	27,70	27,86	28,02	28,19
28	28,35	28,51	28,68	28,85	29,02	29,18	29,36	29,53	29,70	29,87
29	30,04	30,22	30,39	30,57	30,75	30,92	31,10	31,28	31,46	31,61
30	31,82	32,01	32,19	32,38	32,56	32,75	32,93	33,12	33,31	33,50
31	33,70	33,89	34,08	34,28	34,47	34,67	34,86	35,06	35,26	35,46
32	35,66	35,87	36,07	36,27	36,48	36,68	36,89	37,10	37,31	37,52
33	37,73	37,94	38,16	38,37	38,58	38,80	39,02	39,24	39,46	39,68
34	39,90	4,12	40,34	40,57	40,80	41,02	41,25	41,48	41,71	41,94
35	42,18	42,41	42,64	42,88	43,12	43,36	43,60	43,84	44,08	44,32
36	44,56	44,81	45,05	45,30	45,55	45,80	46,05	46,30	46,56	46,81
37	47,07	47,32	47,58	47,84	48,10	48,36	48,63	48,89	49,16	49,42
38	49,69	49,96	50,23	50,51	50,77	51,05	51,32	51,60	51,90	52,16
39	52,44	52,73	51,01	53,29	53,58	53,87	54,16	54,45	51,74	55,03
40	55,32	55,61	55,91	56,21	56,51	56,81	57,11	57,41	57,72	58,03

Абсолютную влажность воздуха можно также выразить как количество водяных паров в граммах, содержащихся в 1 м³ воздуха при данной температуре и барометрическом давлении. Следует помнить, что значения абсолютной влажности, выраженные в мм рт. ст. или граммах, численно близки между собой, а при температуре +16,5 °С их величины равны между собой.

В этом случае относительную влажность воздуха, определяют как отношение фактического количества водяных паров в граммах, содержащемся в 1 м³ воздуха, к максимально возможному количеству водяных паров, которое может содержаться в воздухе при той же температуре и в том же барометрическом давлении, то есть

$$\varphi = \frac{R_r}{R_{\max}} 100 \%,$$

где R_r – абсолютная (фактическая) влажность воздуха, г/м³;

$R_{\max}$ – максимально возможная влажность воздуха при той же температуре и давлении, г/м³.

По показаниям сухого и мокрого термометров относительную влажность находят для психрометров Августа по таблице или для аспирационного психрометра Ассмана по номограмме (рис.1.8).

Относительную влажность воздуха по номограмме определяют следующим образом. В верхней части номограммы помещена шкала температур. Ниже располагаются линии, соответствующие конкретным значениям относительной влажности. Для нахождения относительной влажности воздуха на шкале температур откладывают соответствующие значения t_c и t_b . Затем от значения t_c проводят вниз вертикальную линию, а от значения t_b – наклонную линию до пересечения с вертикальной. Точка пересечения этих линий определяет величину относительной влажности воздуха, значение которой находят на вертикальной ординате графика.

Пример. Температура по сухому термометру $t_c = +21$ °С, а по влажному $t_b = +14$ °С. Прделав указанное построение, видим, что относительная влажность воздуха равна 45 %.

Показания по психрометру Августа должны сниматься не ранее, чем через 10 мин. после его установки, а показания по аспирационному психрометру Ассмана – через 4-5 мин. после пуска его вентилятора.

Данные замеров и результаты расчетов по формулам и номограмме записывают в табл. 1.5.

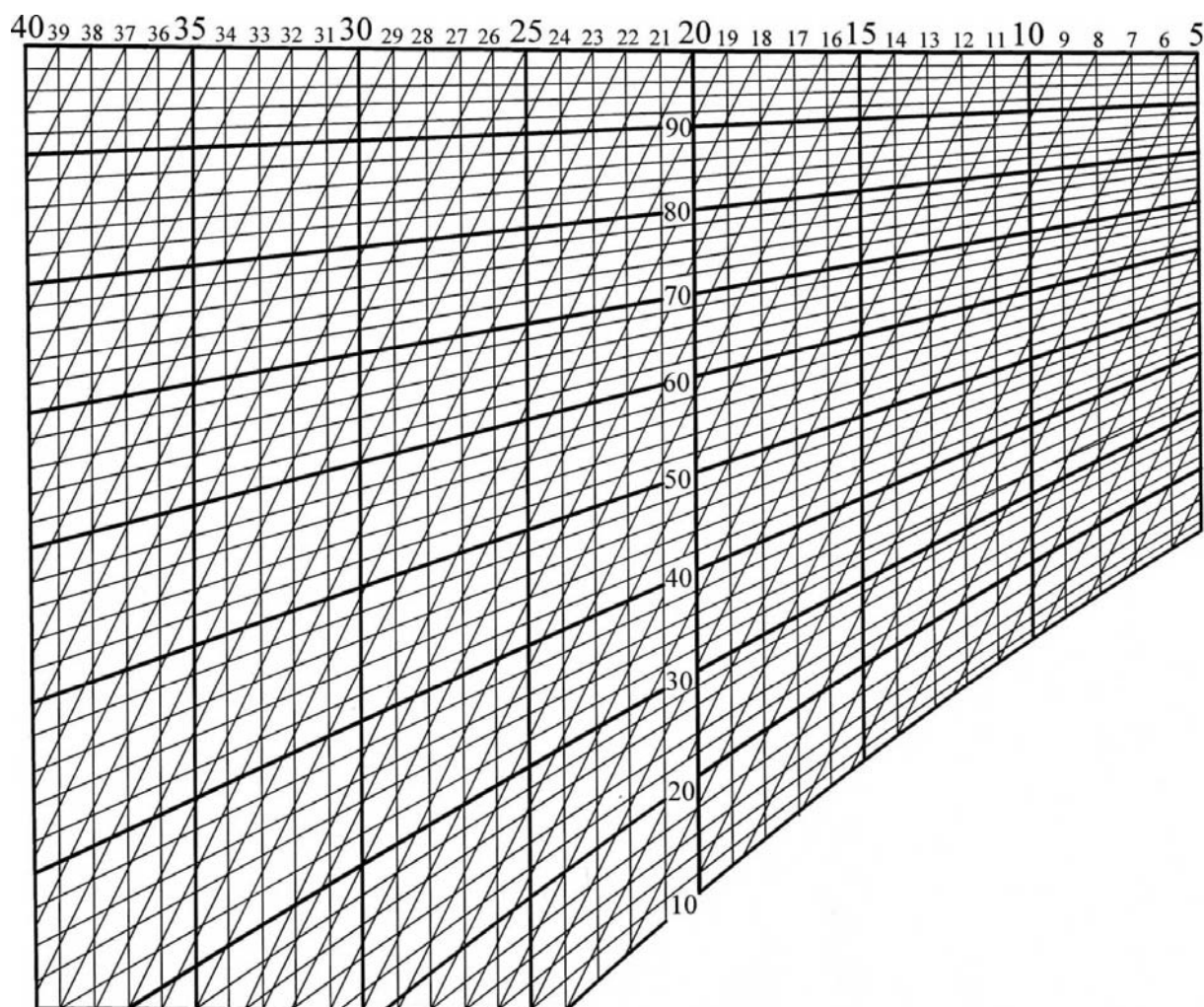


Рис.1.8. Психрометрическая таблица

Таблица 1.5

Определение влажности воздуха

Тип прибора	$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{с}}, ^\circ\text{C}$	$f_{\text{в}}, \text{мм рт. ст.}$	$f_{\text{с}}, \text{мм рт. ст.}$	A	$B, \text{мм рт. ст.}$	$R, \text{мм рт. ст.}$	ϕ	%
								по расчету	по табл. или номограмме

3. Измерение подвижности воздуха

Скорость движения воздуха, превышающая 1 м/с, определяют с помощью крыльчатого или чашечного анемометра. Малые скорости движения воздуха (до 1 м/с) – с помощью кататермометра. Для измерения скорости движения воздуха крыльчатым анемометром прибор устанавливают в воздушном потоке таким образом, чтобы его ось

располагалась параллельно направлению движения потока. До начала замера отмечают положение всех стрелок циферблата, после чего устанавливают анемометр с выключенным счетным механизмом в месте замера и через 5... 10 с, когда лопасти анемометра начинают вращаться с полной скоростью, включают одновременно секундомер и счетный механизм анемометра. По истечении 30...100 с секундомер и счетный механизм анемометра включают. Делением разности конечного N_2 и начального N_1 отсчетов на время замера τ вычисляют частоту вращения, c^{-1} , анемометра:

$$n = \frac{N_2 - N_1}{\tau}.$$

По частоте вращения анемометра и тарировочному графику определяют скорость воздушного потока v , м/с. В каждой расчетной точке измерение скорости выполняют по два раза, причем разность между результатами замеров должна быть в пределах $\pm 5\%$, в противном случае производят дополнительный замер.

Погрешность измерения зависит от скорости движения воздуха, ее определяют с учетом типа прибора. При замере крыльчатим анемометром АСО-3 величину погрешности, м/с, рассчитывают по формуле

$$\Delta v = \pm(0,06v + 0,1),$$

где v – средняя скорость воздуха, м/с.

При замере чашечным анемометром МС-13 погрешность измерения средней скорости движения воздуха, м/с, вычисляют по формуле

$$\Delta v = \pm(0,06v + 0,3).$$

С учетом поправки на погрешность измерения истинная скорость движения воздушного потока, м/с, составляет:

$$v_{\text{ист}} = v + \Delta v.$$

Результаты измерений записывают в табл.1.6.

Т а б л и ц а 1.6

Определение скорости движения воздуха

Тип прибора	N_1	N_2	ΔN	τ, c^{-1}	n, c^{-1}	$V, \text{ м/с}$	$\Delta V, \text{ м/с}$	$V_c = V + \Delta V, \text{ м/с}$

Используемые приборы:

Стенд по исследованию основных параметров воздуха включает следующие приборы и устройства:

1. Комплект спиртовых или ртутных термометров в количестве 3 или 6 штук.
2. Психрометр Августа.

3. Психрометр Ассмана.
4. Анемометр крыльчатый.
5. Анемометр чашечный.
6. Барометр-анероид.
7. Секундомер.
8. Самопишущие приборы (термограф и гигрограф).
9. Настольный вентилятор для создания направленного воздушного потока.
10. Штативы для подвешивания термометров в количестве 3 шт.
11. Электрический аспирационный психрометр.
12. Пипетка для смачивания «влажного» термометра аспирационного психрометра.

Последовательность выполнения лабораторной работы

1. Получить от лаборанта приборы, необходимые для выполнения задания по лабораторной работе. Объем задания определяет преподаватель.

2. Определить температуру воздуха на рабочем месте или в рабочей зоне помещения лаборатории, используя штативы для подвески термометров (при замерах по вертикали – на высоте от пола 0,2; 1,0; 1,5 м, а по горизонтали на высоте 1,5 м). Данные замеров заносят в табл.1.1.

3. Определить атмосферное давление воздуха по барометру-анероиду.

4. Определить относительную влажность воздуха в помещении лаборатории. С учетом задания преподавателя, относительную влажность находят, используя один из двух приборов: психрометр Августа или аспирационный психрометр Ассмана. Показания термометров «сухого» и «влажного» заносят в табл. 1.5. Значения относительной влажности воздуха вначале находят расчетным путем по формулам, а затем по таблице или номограмме (см. рис.1.8). Измерения психрометром выполняют в двух точках помещения, указанных преподавателем. Число измерений – не менее двух. Данные расчетов записывают в табл. 1.5.

5. Определить подвижность воздуха в рабочей зоне помещения или на рабочем месте, используя один из следующих приборов: анемометр крыльчатый или анемометр чашечный. При измерении подвижности воздуха с помощью анемометра необходимо придерживаться следующей последовательности: вначале снимают показания частоты вращения прибора, затем, используя тарифовочный график, находят скорость воздушного потока; после этого определяют истинную скорость с учетом поправки на погрешность измерения. Данные замеров и расчетов записывают в табл.1.6.

6. Сравнить полученные результаты по t , φ и v с нормативными значениями в оптимальном и допустимом режимах. Сделать санитарно-гигиеническую оценку воздушной среды рабочей зоны помещения лаборатории. Результаты сопоставленного анализа записать по форме табл. 1.4.

Т а б л и ц а 1.4

Оценка метеоусловий в помещении по ГОСТ

Параметры	Фактические	Оптимальные	Допустимые
$t, ^\circ\text{C}$			
$\varphi, \%$			
$V, \text{м/с}$			

Техника безопасности при выполнении данной лабораторной работы обеспечивается путем соблюдения общих для данной лаборатории мер безопасности. Настольный вентилятор и электрический аспирационный психрометр по окончании измерений необходимо отключить.

Методика проведения данной лабораторной работы должна предусматривать развитие у студентов навыков научно-исследовательской работы. С этой целью на лабораторных занятиях могут решаться следующие вопросы:

- изучение характеристик новых приборов и приспособлений для измерения параметров воздуха;
- проведение продолжительных наблюдений и исследований параметров воздуха в рабочей зоне лаборатории с использованием самописцев. Цель – отработка методики выполнения научных исследований при изучении микроклимата помещений.

Рекомендуемые варианты заданий по данной лабораторной работе могут быть следующими:

1. Определить среднюю температуру воздуха на рабочем месте или в рабочей зоне помещения лаборатории, используя спиртовые или ртутные термометры; определить требуемую величину относительной влажности по нормам; определить скорость движения потока воздуха на расстоянии 1,0 м от настольного вентилятора или приточного насадка с помощью крыльчатого анемометра; сделать санитарно-гигиеническую оценку воздуха в лаборатории, сопоставив данные эксперимента с нормативными значениями; привести описание термографа.

2. Определить температуру и относительную влажность воздуха в помещении лаборатории с помощью психрометра Августа; определить скорость движения воздуха на расстоянии 0,5 м от настольного

вентилятора или приточного насадка с помощью чашечного анемометра; сопоставить данные эксперимента с оптимальными значениями приведенными в нормативной литературе; привести описание гигрографа.

3. Определить температуру и относительную влажность воздуха в помещении лаборатории с помощью психрометра Ассмана; определить скорость движения воздуха с помощью термоанемометра; сделать санитарно-гигиеническую оценку воздуха в лаборатории, сопоставив данные эксперимента с допустимыми значениями по; привести описание термометра.

4. Определить температуру и относительную влажность с помощью электрического аспирационного психрометра Ассмана; определить подвижность воздуха с помощью индукционного анемометра; сделать санитарно-гигиеническую оценку воздуха на рабочем месте по СНиП 2.04.05-91*; привести описание барографа.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Какие параметры характеризуют состояние воздуха в помещении?
2. Определение абсолютной влажности воздуха и её расчёт по формулам.
3. Определение и расчет относительной влажности воздуха.
4. В каких единицах измеряют абсолютную и относительную влажность? Что такое максимальная абсолютная влажность?
5. Конструктивное отличие психрометра Августа от психрометра Ассмана?
6. Привести характеристики приборов-самописцев.
7. Привести пределы измерения скорости анемометрами.

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 12.1.005-76 ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. – М.: Стройиздат, 1976.
2. СНиП 2.04.05*. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: Госстройком СССР, 1996.
3. Наладка и регулирование систем вентиляции воздуха: справочное пособие / под ред. инж. Б.А. Журавлева. – М.: Стройиздат, 1980.
4. СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. – М.: Стройиздат, 1972.

Лабораторная работа 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В КРУГЛОМ ИЛИ ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЗДУХОПРОВОДЕ

Цель работы – определение скорости воздушного потока в воздухопроводах систем вентиляции с помощью дифференциального микроманометра (ДМ) и пневмометрической трубки.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для определения расхода воздуха в воздуховодах, распределенных и локальных аэродинамических потерь в различных элементах сети, потерь в воздушных фильтрах, клапанах, теплообменниках, или производительности вентилятора, статического и полного давлений вентилятора необходимо измерять статическое и полное давления в каналах. Методика определения расходов воздуха и потерь давления в вентиляционных системах и их элементах изложена в ГОСТ 12.3.018-79 (Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний).

Движение воздуха в сети воздухопроводов характеризуется полным P_0 , динамическим (скоростным) P_v и статическим $P_{ст}$ давлениями.

Измерение указанных давлений осуществляют дифференциальным микроманометром (ДМ) в комплекте с пневмометрической трубкой. В качестве пневмометрической трубки используется комбинированный приемник давления типа ВЦНИИОТ-ЦАГИ. Он представляет собой изогнутую под углом 90° цилиндрическую трубку 4 (рис.2.1), в которую вставлена трубка меньшего диаметра 5 с полусферическим наконечником 2 и центральным приемным отверстием 1.

Передача давлений от приемника давления к ДМ осуществляется двумя длинными гибкими эластичными трубками из резины или пластика. Пневмометрические трубки устанавливают по оси воздухопровода навстречу потоку. Перед началом измерений следует проверить правильность соединения трубки с микроманометром. Пневмотрубку вводят в воздухопровод через специальное отверстие (лючок замерный – ЛП).

Для выполнения лабораторной работы необходимо следующее оборудование:

1. Микроманометр ЦАГИ в комплекте с пневмометрической трубкой.
2. Барометр-анероид.

3. Термометр.

4. Сантиметровая линейка.

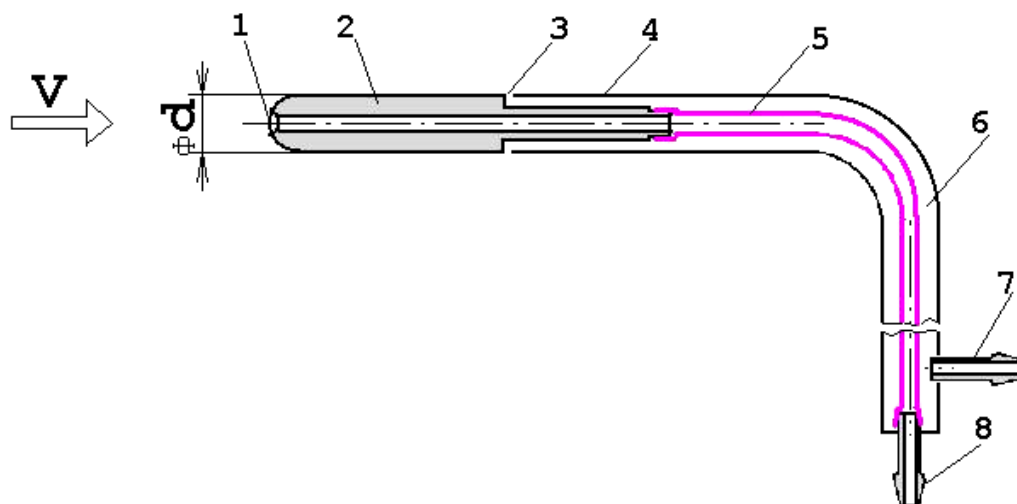


Рис. 2.1. Комбинированный приемник давления (ГОСТ 12.3.018-79):
1 – приемник полного давления P_o ; 2 – наконечник с приемником полного давления P_o ; 3 – щелевой кольцевой приемник статического давления $P_{ст}$; 4 – внешняя металлическая трубка круглого сечения; 5 – внутренняя трубка передачи полного давления P_o ; 6 – кольцевой канал передачи статического давления $P_{ст}$; 7 – штуцер статического давления $P_{ст}$; 8 – штуцер полного давления P_o

Выполняем построение поля скоростей в поперечном сечении воздухопровода

Распределение скоростей в поперечном сечении воздухопровода зависит от режима течения воздуха, определяемого критерием Рейнольдса Re . Как правило, в системах вентиляции с механическим побуждением формируется турбулентный режим течения (рис.2.2), а в системах с естественным побуждением – ламинарный (рис.2.3). Ориентировочно принято считать, что переход одного режима течения к другому происходит при $Re = 2320$.

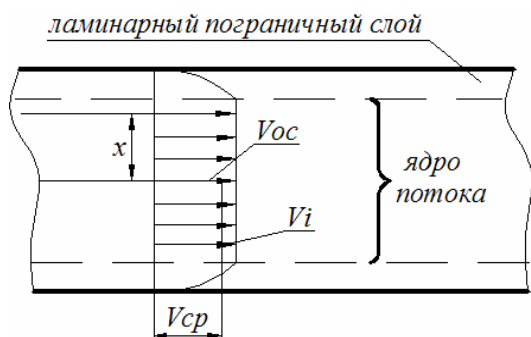


Рис. 2.2. Турбулентный режим

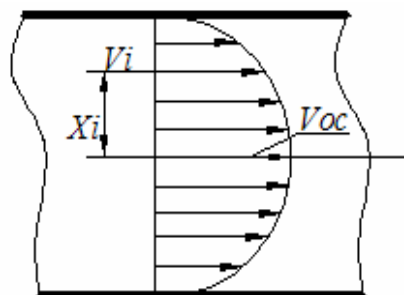


Рис.2.3. Ламинарный режим

Профиль поля скоростей при турбулентном движении воздуха математически можно описать следующим уравнением;

$$V_i = V_{oc} \cdot \left[1 - \frac{r}{R} \right]^{0,84\sqrt{\lambda}}, \text{ м/с}, \quad (2.1)$$

где V_i – скорость воздуха на расстоянии r от оси воздухопровода, м/с;

V_{oc} – скорость воздуха по оси потока, м/с;

R – радиус воздухопровода, м;

λ – коэффициент гидравлического трения, для воздухопроводов систем промышленной вентиляции λ равен 0,016...0,04.

Величину критерия Рейнольдса при ламинарном режиме движения воздуха определяют по формуле

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}, \quad (2.2)$$

где V – скорость движения потока, м/с;

ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м²/с, принимается равным $1,57 \cdot 10^{-5}$ (при нормальных условиях $t = +20^\circ\text{C}$ и $B = 101325 \text{ Па}$).

При турбулентном режиме течения число Рейнольдса Re вычисляют по формуле

$$Re \cong 67000 \cdot V_{\max} \cdot D, \quad (2.3)$$

где D – диаметр воздухопровода, м.

При проведении исследований поля скоростей следует учитывать, что его стабильность наступает на расстоянии x после или до местного сопротивления. Длина участка стабилизации потока при турбулентном режиме равна

$$x \geq 0,693 \cdot D \cdot Re^{0,25}, \text{ м}. \quad (2.4)$$

Определение средних скоростей потока воздуха в сети

1. Определение средней скорости в воздухопроводах круглого сечения.

Все сечение круглого воздухопровода разбивают на n равновеликих площадок, имеющих форму колец и круга в центре. Число колец (площадок), в зависимости от диаметра воздухопровода в местах измерения скорости, рекомендуется принимать:

$n = 3$ – при диаметре до 355 мм;

- $n = 4$ – при диаметре до 630 мм;
 $n = 5$ – при диаметре до 710 мм;
 $n = 6$ – при диаметре более 710 мм.

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

$$r_i = R \cdot \sqrt{\frac{2k-1}{2n}}, \text{ мм}, \quad (2.5)$$

где k – порядковый номер кольца, для которого определяют величину r_i .

Измерение скоростей принято выполнять по двум взаимоперпендикулярным диаметрам (рис.2.4), то есть в четырех точках для каждого кольца. Затем находят среднее арифметическое значение скорости в пределах кольца:

$$\bar{V}_i = \frac{V_{1a} + V_{1б} + V_{1в} + V_{1г}}{4}, \text{ м/с}. \quad (2.6)$$

Среднюю скорость воздуха в выбранном сечении воздухопровода определяют как среднюю по площади каждого кольца

$$V_{\text{ср}} = \frac{\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3 + \dots + \bar{V}_n}{n}, \text{ м/с}. \quad (2.7)$$

Измерение скоростей (динамических давлений) с помощью пневмометрической трубки, вводимой в воздухопровод через замерный лючок, начинают от стенки воздухопровода. Расстояния от стенки воздухопровода до точек измерения давлений обозначены на рис. 2.4.

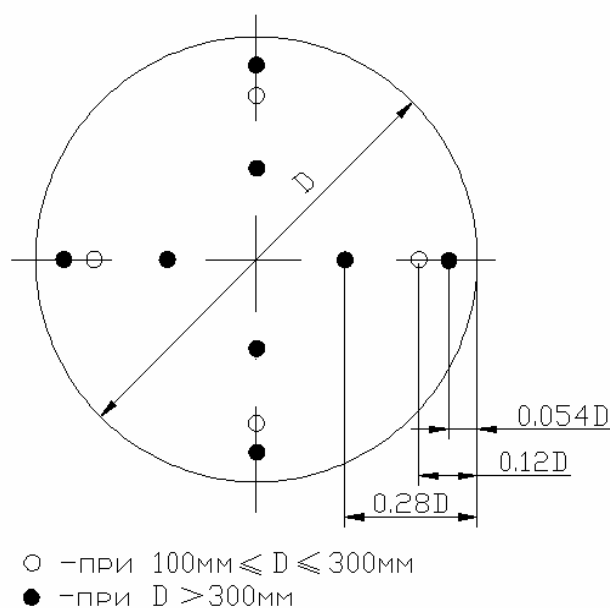


Рис. 2.4. Схема точек замеров для круглого воздухопровода

2. Определение средней скорости в воздухопроводах прямоугольного сечения

С этой целью сечение прямоугольного воздухопровода разбивается на n площадок, площадь каждой площадки f_i . Размер элементарной площадки не должен превышать $0,05 \text{ м}^2$. В центре каждой площадки (рис. 2.5) измеряются V_{oci} и динамическое давление P_{dvi} .

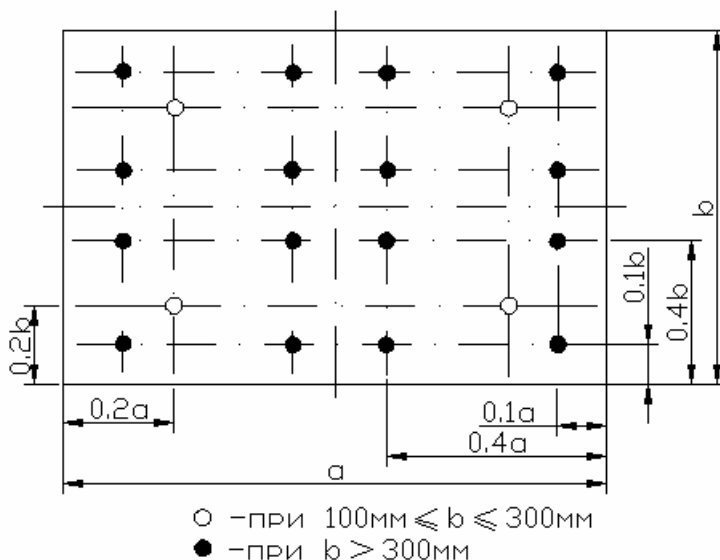


Рис. 2.5 Схема точек замеров для воздухопровода прямоугольного сечения

3. Определение средней скорости потока воздуха по разовому замеру

Среднюю скорость воздушного потока в воздухопроводе круглого сечения можно определить по единичному замеру в той точке, где местная скорость равна средней. Такой точкой является точка, стоящая от стенки воздухопровода на расстоянии y :

$$y = (0,238 - 0,244) \cdot R \cong 0,24R = 0,12D. \quad (2.8)$$

Проверка данного метода определения средней скорости подтвердила его точность; так, например, погрешность определения V (при $V_{cp} > 7 \text{ м/с}$) не превышает $\pm 2\%$.

4. Определение расхода воздуха

По найденной средней скорости движения воздуха подсчитывают объемный и массовый расход воздуха, проходящего по воздухопроводу:

$$L = 3600 v_{cp} F, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.9)$$

$$G = 3600 \rho_t v_{cp} F, \text{ кг/ч}, \quad (2.10)$$

где $F = \pi D^2/4$, м, – площадь поперечного сечения воздухопровода, м²;

ρ_t – плотность воздуха при температуре t ,

$$\rho_t = \frac{353}{273+t}, \text{ кг/м}^3; \quad (2.11)$$

t – температура перемещаемого воздуха, °С. В нашем случае принимается равной температуре воздуха в помещении лаборатории вентиляции.

Последовательность выполнения работы и обработки результатов опытных измерений

1. Вначале определяют расстояния до точек измерения $V_i(P_{dvi})$ по формуле (2.5) или по рис.2.4, 2.5.

2. Установив микроманометр в горизонтальное положение, выбирают угол наклона шкалы прибора и записывают начальный отсчет по трубке микроманометра.

3. Сняв показания атмосферного давления по барометру и температуру воздуха в помещении по термометру, настраивают микроманометр на замеры в нагнетательном или всасывающем участке сети.

4. Затем производят измерение скоростей (динамических давлений) в выбранных точках и по оси воздухопровода. Результаты отсчетов по микроманометру обрабатывают по формуле

$$P_{dv} = (l - l_0) \cdot k \cdot \rho_{ж} \cdot k_{тр} \cdot k_m \cdot a, \text{ Па}, \quad (2.12)$$

где l и l_0 – начальный и последующий отсчеты по трубке микроманометра, мм;

k – коэффициент прибора (угол наклона шкалы прибора);

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости, залитой в микроманометр, г/см³ ($\rho_{ж}=0,805$ г/см³);

$k_{тр}$ – коэффициент тарирования пневмотрубки, можно принять равным 1,0;

k_m – коэффициент тарирования микроманометра (см. паспорт прибора);

a – коэффициент, необходимый для проведения результатов замеров к стандартным условиям (при $B = 760$ мм рт. ст. и $t = +20$ °С),

$$a = \frac{760 \cdot (273 + t)}{293 \cdot B}. \quad (2.13)$$

5. По формуле $V = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{dv}}{\rho_t}}$ определяют скорости в точках измерений, а по формулам (2.6) и (2.7) – среднюю скорость в пределах кольца $\bar{V}_i$ и среднюю скорость в поперечном сечении воздухопровода V_{cp} . Затем сравнивают средние скорости, определенные по формуле (2.7) и в точке, отстоящей от стенки воздухопровода на $y \approx 0,24R$.

6. По средним, в пределах расчетных колец, значениям скоростей $\bar{V}_i$ строят эпюру распределения скоростей в поперечном сечении воздухопровода. Пунктирной линией наносят V_{cp} , взятую по среднеарифметическому значению средних скоростей, определенных по формуле (2.7).

7. Для наглядности, пользуясь формулой (2.1) по известной V_{oc} и задаваясь значениями $r_i = 0,02; 0,04; \dots R$, м, строят профиль поля скоростей в поперечном сечении воздухопровода в координатах $\frac{V_i}{V_{oc}}$ и

$\frac{x}{R}$. Значения λ следует принять равными 0,02; 0,025 и 0,035.

8. По $V = V_{cp}$ определяют объемный и массовый расходы воздуха в сети (в рассматриваемом сечении воздухопровода).

Результаты измерений и расчетов сводят в таблицу.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Объяснить цель выполнения лабораторной работы.
2. Перечислить приборы и инструменты, используемые в данной лабораторной работе.
3. Изложить методику определения скорости потока в воздухопроводах круглого и прямоугольного сечения.
4. Объяснить последовательность определения расхода воздуха в сети.

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТОПЛЕННОЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУИ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Ц е л ь р а б о т ы – на основании опытных измерений определить начальный участок изотермической затопленной струи круглого сечения; построить эпюру скорости в начальном сечении струи.

Закономерности формирования струи

Струей называется поток жидкости или газа с конечными поперечными размерами. Различают струи свободные и несвободные, изотермические и неизотермические, ламинарные и турбулентные.

Свободная струя не стеснена никакими границами, а **несвободная** в той или иной мере ограничена.

Изотермическая струя имеет по всему объему одну температуру. Это может быть в том случае, если струя не участвует в теплообмене с окружающей средой, т.е. температура в начале струи равна температуре окружающей среды. В противном случае струя нагревается или охлаждается по течению и становится **неизотермической**.

Ламинарная или **турбулентная** струя характеризуется соответственно ламинарным или турбулентным режимом течения. В вентиляции имеют дело с турбулентными воздушными струями.

Турбулентная струя, как и всякое турбулентное течение, характеризуется интенсивным перемещением частиц. Вследствие этого периферийные слои струи подтормаживаются, а слои окружающего воздуха, находящиеся вблизи струи, приходят в движение. В результате создается пограничный слой струи, который по направлению течения непрерывно утолщается. Таким образом, размеры струи по течению увеличиваются, масса ее растет, а скорость убывает. Если в выходном сечении сопла скорости распределяются равномерно, то в начале струи толщина пограничного слоя равна нулю. В этом случае границы пограничного слоя представляют собой расходящиеся поверхности, которые пересекаются у кромок сопла (рис.3.1).

В струе различают два участка – начальный и основной. В пределах начального участка длиной X_H на оси струи сохраняется неизменной начальная скорость истечения ϑ_0 . В основном участке скорость как на оси струи, так и на периферийной части по мере удаления от выпускного отверстия непрерывно уменьшается. Границы основного участка струи пересекаются в точке П, называемой полюсом струи.

С внешней стороны пограничный слой струи соприкасается с неподвижной окружающей средой, причем под внешней границей пони-

мают поверхность, во всех точках которой составляющая скорости, параллельная оси струи, v_1 равна нулю. По мере удаления от сопла наряду с утолщением пограничного слоя происходит сужение ядра постоянной скорости. Этот процесс приводит к тому, что на некотором расстоянии ядро постоянных скоростей исчезает совсем.

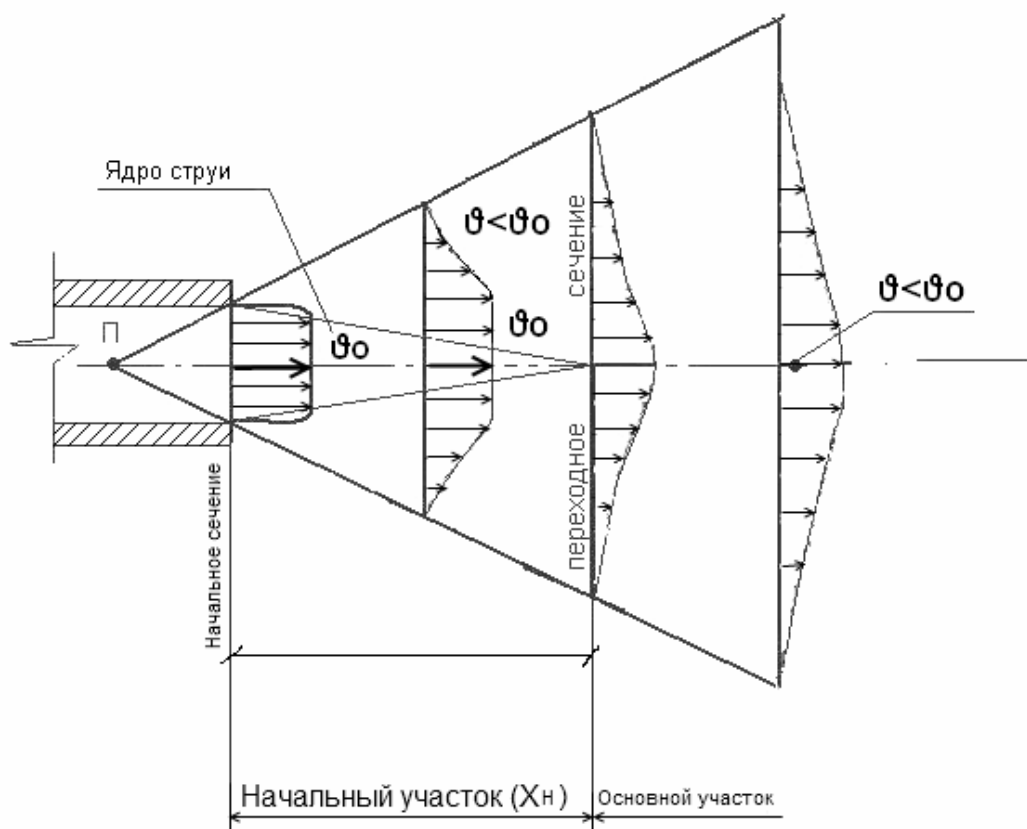


Рис. 3.1. Схема приточной изотермической струи, вытекающей из круглого отверстия

На следующем участке струи пограничный слой заполняет уже все поперечное сечение, простираясь вплоть до оси потока, и размывание потока сопровождается не только увеличением ширины струи, но также и падением скорости на ее оси (см. рис.3.1).

Сечение струи, в котором завершилась ликвидация ядра постоянной скорости, называется переходным. Участок, расположенный между начальным и переходным сечениями струи, называют начальным, а участок, следующий за переходным сечением, — основным.

Характерной особенностью турбулентных струй является то, что поперечные составляющие скорости в любом сечении струи малы по

сравнению с продольной скоростью. Поэтому в большинстве случаев поперечную составляющую скорости в струе не учитывают.

На рис.3.2 представлены начальное сечение воздуховода круглого сечения и координаты контрольных точек, в которых необходимо измерить скорость, а затем по результатам замера построить эпюру скоростей.

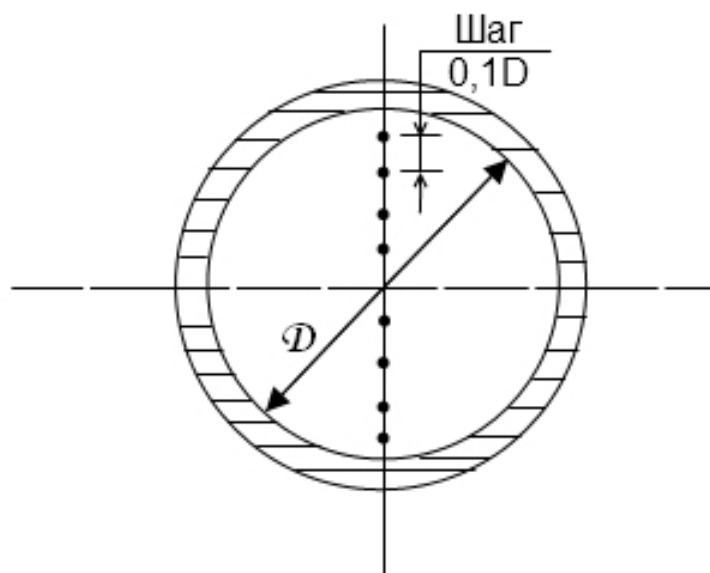


Рис. 3.2. Координаты контрольных точек на выходе струи из воздуховода круглого сечения

При переходе через внешнюю границу струи меняется скорость потока, но не меняется статическое давление – в струе оно такое же, как в окружающей среде.

Следует отметить, что в рассмотренной модели турбулентной затопленной струи принят целый ряд упрощений. Например, граница реальной струи – линия не прямая, как принято в модели, а весьма извилистая и постоянно пульсирующая. Указать же, где кончается струя и начинается неподвижная внешняя среда, можно лишь приближенно, с точностью, зависящей от точности измерения скорости. Кроме того, заметное влияние на поле скоростей в струе может оказать неравномерность эпюры скоростей в начальном сечении струи, характер которой зависит от конструкции сопла и условий формирования потока перед ним. Приведенная на рис. 3.1 равномерная эпюра скоростей без пограничного слоя в начальном сечении струи справедлива только для конфузорного сопла. При истечении струи, например, из трубы пограничный слой существует уже в начальном участке, что приводит к несколько иному распределению скоростей в

струе, чем в струе, представленной на рис. 3.1. Несмотря на упрощения, эта модель широко применяется в прикладной аэродинамике и обеспечивает необходимую достоверность при решении практических задач.

Приборы, необходимые для выполнения работы:

1. Микроманометр типа ММН.
2. Комбинированный приемник давления.
3. Барометр класса точности не ниже 1,0.
4. Ртутный термометр класса точности не ниже 1,0.
5. Психрометр Ассмана.
6. Мерный инструмент – рулетка.
7. Термоэлектроанемометр.

Метод выбора контрольных точек

Контрольные точки назначаются как вдоль струи на ее геометрической оси, совпадающей с осью воздуховода, далее по течению от начального сечения, так и в меридиональном сечении струи на срезе воздуховода. Координаты контрольных точек на оси струи расположены с постоянным шагом, равным внутреннему диаметру воздуховода, и отсчитываются от среза последнего (см. рис.3.1). Контрольные точки на срезе воздуховода располагаются в его меридиональной плоскости с постоянным шагом $0,1D$ (см. рис.3.2).

Последовательность выполнения работы

1. Измерить рулеткой внутренний диаметр воздуховода D на его срезе.
2. Выставить микроманометр с помощью уровней в горизонтальное положение.
3. При отключенном микроманометре установить жидкостный столбик в нулевое положение по шкале прибора.
4. Подключить микроманометр к комбинированному приемнику для измерения динамического давления.
5. Измерить с помощью барометра барометрическое давление B в лаборатории.
6. Измерить температуру воздуха t , °С, ртутным термометром в помещении лаборатории.
7. С помощью психрометра определить относительную влажность воздуха φ в помещении лаборатории.
8. Запустить вентилятор.

9. Открыть задвижку на нагнетательной магистрали.
10. Устанавливая термоэлектроанемометр в каждой контрольной точке вдоль оси, начиная от среза воздуховода, измерить скорость в каждой контрольной точке l_i . Замеры производить до тех пор, пока не произойдет изменения показания скорости на оси струи. Для отсчета координат точек применять рулетку.
11. Измерения, описанные в п. 10, выполнить не менее трёх раз. Результаты записать в табл. 3.1.
12. Устанавливая комбинированный приемник последовательно в контрольных точках на срезе сопла и следуя сверху вниз с шагом $0,1D$, измерить динамическое давление P_{dx_i} в каждой контрольной точке x_i .
13. Измерения, описанные в п. 12, выполнить не менее трёх раз. Результаты записать в табл. 3.2.
14. Произвести обработку результатов измерений.
15. Построить эпюру скоростей на срезе воздуховода.

Т а б л и ц а 3.1

Координата $l_{i,m}$	Номер замера	Скорость на оси струи ϑ , м/с	Среднее значение $\bar{\vartheta}$, м/с
$l_0 = 0$	1		
	2		
	3		
$l_1 = 1D$	1		
	2		
	3		
$l_2 = 2D$	1		
	2		
	3		
$l_3 = 3D$	1		
	2		
	3		
$l_i = iD$	1		
	2		
	3		

Т а б л и ц а 3.2

Координата x_i , м	Номер замера	Показания микроманометра h_{di} , мм	$\bar{h}_{di}$, мм	P_{dxi} , Па	ϑ_{xi} , м/с
$x_1 = 0$	1				
	2				
	3				
$x_2 = 0,1D$	1				
	2				
	3				
$x_3 = 0,2D$	1				
	2				
	3				
$x_4 = 0,3D$...	1				
	2				
	3				
$x_i = iD$	1				
	2				
	3				

Обработка результатов измерений

1. По результатам замеров, выполненных по п. 10, определить начальный участок струи. Величину начального участка X_H определяют исходя из известного положения, что значение осевой скорости ϑ_0 на всем протяжении участка остаётся постоянным.

Полученная величина X_H сравнивается с теоретически вычисленной по выражению

$$X_H = \frac{D}{a}, \quad (3.1)$$

где D – диаметр воздуховода, м;

a – коэффициент, характеризующий турбулентность струи, численно равен 0,076.

2. По результатам замеров, выполненных по п. 12, определить динамическое давление P_{di} . Динамическое давление, Па, измеренное микроманометром в каждой i -й контрольной точке, рассчитываем по формуле

$$P_{di} = k \cdot g \cdot \bar{h}_{di} \quad (3.2)$$

где k – коэффициент прибора;

g – ускорение свободного падения, $g=9,81$ м/с²;
 $\bar{h}_{di}$ – среднеарифметическая величина измерений по шкале прибора, мм,

$$\bar{h}_{di} = \frac{\sum_{i=1}^n h_{di}}{n} \quad (3.3)$$

3. Скорость потока воздуха, м/с, в каждой контрольной точке меридионального сечения воздуховода определяем по формуле

$$v_{xi} = \sqrt{\frac{2P_{dxi}}{\rho}} \quad (3.4)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³

$$\rho = \frac{353}{273 + t_B} \quad (3.5)$$

где t_B – температура воздуха в помещении, °С .

Форма представления результатов работы

1. Результаты измерений и расчетов представить по форме табл. 3.1 и 3.2.
2. По данным, полученным в ходе исследований, построить график, характеризующий распределение скоростей в меридиональной плоскости начального сечения воздуховода.
3. Написать выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Какая струя называется свободной?
2. Что является основной причиной увеличения массы струи?
3. Чем характеризуется ядро струи?
4. Какая струя называется неизотермической?
5. Какие приборы необходимы для выполнения данной лабораторной работы?

Лабораторная работа 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ ПО ДЛИНЕ КРУГЛОГО ВОЗДУХОПРОВОДА

Ц е л ь р а б о т ы – опытное определение коэффициента аэродинамического трения и сравнение его с теоретическим значением, вычисленным по одной из формул – (4.4), (4.6) или (4.7).

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Движение воздуха в сети воздухопровода осуществляется за счет затраты энергии полного давления. Действующее в сети давление расходуется на преодоление воздухом сил трения о стенки воздухопроводов по их длине и на потери в местных сопротивлениях, к которым относят потери в фасонных и соединительных частях сети, а также в регулирующих устройствах и различном оборудовании вентиляционной установки.

Потери полного давления на трение по длине круглого воздухопровода постоянного поперечного сечения P_v , Па, определяют по формуле

$$P_v = R \cdot l = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2 \cdot \rho_t}{2} \cdot l, \text{ Па}, \quad (4.1)$$

где R – удельные потери давления на трение на 1 м длины воздухопровода (удельное сопротивление), Па/м;

l – длина расчетного участка воздухопровода, м;

λ – коэффициент аэродинамического трения (коэффициент сопротивления трению);

D – диаметр воздухопровода, м;

V – скорость движения воздуха в воздухопроводе, м/с;

ρ_t – плотность воздуха при температуре t , кг/м³.

Потери давления в местном сопротивлении сети вычисляют по формуле

$$Z = \xi \cdot \frac{V^2 \rho_t}{2}, \text{ Па} \quad (4.2)$$

где ξ – безразмерный коэффициент, характеризующий местное сопротивление;

V – скорость движения воздуха в рассматриваемом сечении, м/с.

Полные потери давления в сети (по длине и в местных сопротивлениях) будут равны:

$$P_v = \sum (R \cdot l + Z) = \left(\frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2 \cdot \rho_t}{2} \cdot l + \xi \cdot \frac{V^2 \cdot \rho_t}{2} \right), \text{ Па}. \quad (4.3)$$

Коэффициент аэродинамического трения λ является переменной величиной и зависит от режима движения перемещаемой газообразной жидкости (числа Рейнольдса Re) и коэффициента относительной шероховатости стенок воздухопровода $\frac{K}{D}$, представляющего собой отношение средней высоты отдельных выступов, мм на внутренней поверхности воздухопровода (так называемой абсолютной шероховатости) к диаметру воздухопровода, мм.

Коэффициент аэродинамического трения при числах Рейнольдса, меньших 2320, то есть при ламинарном режиме движения воздуха λ , не зависит от коэффициента шероховатости, его величину определяют по формуле Пуазейля:

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (4.4)$$

При повышении числа Рейнольдса на сопротивление сети начинает оказывать влияние шероховатость стенок (наступает так называемый переходный режим).

При турбулентном режиме один и тот же воздухопровод при постоянной его шероховатости может быть гидравлически гладким или гидравлически шероховатым. Переходным является значение числа Рейнольда, определяемое выражением

$$Re = 135 \cdot \frac{r}{k}. \quad (4.5)$$

Воздухопровод считают гидравлически гладким при $Re < 135 \cdot \frac{r}{k}$, в этом случае коэффициент аэродинамического трения определяют по формуле Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (4.6)$$

При $Re > 135 \cdot \frac{r}{k}$ воздухопровод считают гидравлически шероховатым, а коэффициент аэродинамического трения определяют по формуле Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K}{D} \right)^{0,25}. \quad (4.7)$$

Методика опытного определения коэффициента аэродинамического трения сводится к следующему.

Из формулы (4.1) находят коэффициент аэродинамического трения, который выражается следующей зависимостью:

$$\lambda = \frac{R \cdot l}{\frac{l}{D} \cdot \frac{V^2 \cdot \rho_t}{2}}. \quad (4.8)$$

Затем определяют полные давления P'_v и P''_v на расчетном участке l – в начале и в конце его при различных расходах воздуха L (при 3-х разных значениях), а также соответствующее им динамическое (скоростное) давление P_{dv} , замеренное в одном из выбранных сечений.

По разности давлений $\Delta P_v = P_v^{1-1} - P_v^{2-2}$ по формуле (4.10) находят удельную потерю давления на трение R в формулу (4.8), вычисляют опытную величину коэффициента аэродинамического трения λ .

Приборы:

1. Микроманометры типа ЦАГИ или ММН с пневмотрубкой – 1 компл.
2. Термометр ртутный или спиртовой – 1 шт.
3. Тахометр – 1 шт.
4. Метр – 1 шт.

Последовательность выполнения работы

1. Выбирают испытываемый участок длиной l и измеряют полные давления в сечениях 1-1 и 2-2.

2. При движении воздуха по воздухопроводу происходят потери давления на трение. Полное давление в сечении 2-2 по своей величине будет меньше полного давления в сечении 1-1 на величину потерь ΔP_v .

Следовательно, можно записать, что

$$\Delta P_v = P_v^{1-1} - P_v^{2-2}, \quad \text{Па}, \quad (4.9)$$

где P_v^{1-1} и P_v^{2-2} – полные давления, Па.

3. Зная величину потерь давления ΔP_v и длину участка l , находят потери давления на 1 м длины воздухопровода, то есть

$$\Delta P_v = \frac{P_v^{1-1} - P_v^{2-2}}{l} = \frac{P_{sv}^{1-1} - P_{sv}^{2-2}}{l}, \quad \text{Па/м}. \quad (4.10)$$

4. Подставив найденное значение R в формулу (4.8), определяют опытное значение коэффициента аэродинамического трения λ . Подобные измерения производят для 3-х значений расхода воздуха. Расход воздуха в сети изменяют с помощью шибер, установленного на выхлопном патрубке вентилятора.

5. Среднюю скорость движения воздуха подсчитывают по среднему динамическому давлению, замеренному в одном из выбранных сечений:

$$V_{\text{cp}} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{dv}^{\text{cp}}}{\rho_t}}, \quad \text{м/с} \quad (4.11)$$

где P_{dv}^{cp} – среднее динамическое давление в рассматриваемом сечении воздухопровода, Па;

ρ_t – плотность перемещаемого воздуха, кг/м³.

По найденной средней скорости и площади поперечного сечения воздухопровода определяют расход воздуха:

$$L = V_{\text{cp}} \cdot F \cdot 3600, \quad \text{м}^3/\text{ч}. \quad (4.12)$$

Данные опытных измерений и расчетов оформляют в табличной форме.

П р и м е ч а н и я :

Справочные данные для расчета и определения основных параметров Re , K , r , ρ_t и ξ приведены ниже:

1. При ламинарном режиме течения газообразных жидкостей число Рейнольдса определяют по формуле

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu},$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости воздуха, м²/с.

Кинематический коэффициент вязкости воздуха при нормальных условиях (при $B = 760$ мм рт. ст. и $t = +20$ °С) равен $1,57 \cdot 10^{-5}$.

2. При турбулентном режиме течения газообразных жидкостей число Рейнольдса вычисляют по формуле

$$Re = 57000 \cdot V_{\text{н}} \cdot D,$$

где $V_{\text{н}}$ – максимальная скорость воздуха по оси круглого воздухопровода, м/с;

D – диаметр воздухопровода, м.

3. K – средняя высота отдельных неровностей на внутренней поверхности трубопроводов. Для воздухопроводов, выполненных из листовой стали, значение K принимают равным 0,1 мм.

4. $r = \frac{D}{2}$ – радиус воздухопровода, мм.

5. ρ_t – плотность перемещаемого воздуха,

$$\rho_t = \frac{353}{273 + t}, \text{ кг/м}^3,$$

где t – температура воздуха в помещении, °С.

6. ξ – коэффициент местных сопротивлений фасонных частей и вентиляционного оборудования находят по таблицам (см. справочные данные).

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Объясните физический смысл коэффициента аэродинамического трения.

2. Описать последовательность выполнения лабораторной работы по нахождению опытного значения λ .

3. Объяснить методику определения средней скорости и расхода воздуха в сети.

4. Раскрыть физический смысл коэффициента относительной шероховатости.

Лабораторная работа 5 ИСПЫТАНИЕ КАЛОРИФЕРА

Цель работы – определение коэффициента теплопередачи и величины сопротивления калорифера воздушному потоку, который проходит через него.

Коэффициент теплопередачи является основным показателем теплотехнических качеств калориферов. Он показывает величину теплового потока, проходящего через единицу поверхности теплообмена от теплоносителя к нагреваемому воздуху за единицу времени и при градиенте температуры в один градус. На величину коэффициента теплопередачи влияют конструктивные и эксплуатационные факторы: основные и дополнительные. Основные: температурный градиент, скорость движения воздуха в межтрубном пространстве и теплоносителя в трубках калорифера. Дополнительные: степень загрязнения внутренней и наружной поверхности трубок, конструктивное выполнение трубок (состав металла, конфигурация поперечного сечения), вид оребрения. Вместе взятые дополнительные факторы могут очень сильно изменить величину коэффициента теплопередачи. Поэтому при экспериментальных работах, во избежание крупных ошибок, нужно добиваться одинаковых условий.

Сопротивление калорифера является вторым показателем, необходимым для определения энергии, которая затрачивается для прохода воздуха в межтрубном пространстве. Величина сопротивления используется для определения мощности, потребляемой вентилятором.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Основную теплотехническую характеристику калорифера – коэффициент теплопередачи – можно определить по тепловому потоку от теплоносителя к воздуху:

$$K = \frac{Q}{F \left(\frac{t_{\Gamma} + t_0}{2} - \frac{t_X - t_H}{2} \right)}, \quad (5.1)$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С);

Q – тепловой поток от теплоносителя к нагреваемому воздуху Вт;

F – поверхность теплообмена калорифера, м²;

t_{Γ} – температура теплоносителя на входе в калорифер, °С;

t_0 – температура теплоносителя на выходе из калорифера, °С;

t_H – температура теплоносителя на входе в калорифер, °С;

t_K – температура теплоносителя на выходе из калорифера, °С.

Коэффициент теплопередачи можно определить также по массовой скорости движения воздуха в межтрубочном сечении и скорости теплоносителя в сечении трубок калорифера:

$$K = A(V\rho)^n \varpi^m, \quad (5,2)$$

где A, n, m – эмпирические величины, зависящие от типа калорифера.

Для калориферов:

✓ типа КВБ	$A=18,5$	$n=0,257$	$m=0,192$
✓ типа КВС	$A=10$	$n=0,297$	$m=0,224$
✓ типа КВС-П	$A=20,86$	$n=0,32$	$m=0,132$
✓ типа КВБ-П	$A=19,77$	$n=0,32$	$m=0,13$
✓ типа КС 3	$A=19,31$	$n=0,455$	$m=0,14$
✓ типа КС 4	$A=15,96$	$n=0,515$	$m=0,17$

V – скорость воздуха в межтрубочном сечении калорифера, м/с;

ρ – плотность воздуха на входе в калорифер, кг/м³;

ϖ – скорость теплоносителя в трубках калорифера, м/с.

Значение приведенных эмпирических величин соответствует теплоносителю “вода”.

Тепловой поток в формуле (5.1) со стороны теплоносителя определяется по известной зависимости:

$$Q = C_T G_T (t_T - t_0) / 3,6, \quad (5.3)$$

где C_T – массовая теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг·°С);

G_T – массовый расход теплоносителя, кг/ч.

Этот же тепловой поток со стороны нагреваемого воздуха можно рассчитать по формуле

$$Q = C_b G_b (t_K - t_H), \quad (5.4)$$

где C_b – массовая теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С);

G_b – массовый расход нагреваемого воздуха, кг/ч;

t_K – конечная температура нагреваемого воздуха, °С;

t_H – начальная температура нагреваемого воздуха, °С.

Сопротивление калорифера прохождению воздуха определяется по зависимости

$$\Delta P = B(V\rho)^d,$$

где B, d – эмпирические величины от типа калориферов 1.

Для калориферов:

✓ типа КВС-П	$B=2,16$	$d=1,62$
✓ типа КВБ-П	$B=2,75$	$d=1,65$

- ✓ типа КСК 3 $B=1,58$ $d=1,71$
- ✓ типа КСК 5 $B=1,883$ $d=1,73$

Лабораторная установка имеет генератор тепла, вентиляционную установку, исследуемый калорифер, воздухопроводы и средства измерения. В качестве генератора тепла можно использовать электронагреватель или подключить трубопровод к системе отопления. С помощью трубопровода охлажденную воду можно подавать в емкость с электронагревателем или в мерный сосуд. исследуемый калорифер со стороны воздуха присоединен к воздуховодам, с помощью которых обеспечивается необходимый расход воздуха через него. Для побуждения движения воздуха через калорифер используется вентилятор.

Измерение расхода теплоносителя через калорифер производится с помощью диафрагмы и U-образного манометра или с помощью мерного сосуда. Измерение расхода воздуха и давлений осуществляется микроманометрами и. Измерение температур теплоносителя до и после калорифера – ртутными термометрами .

Порядок выполнения работы

1. Открыть вентили на подающем и обратном трубопроводах.
2. Проконтролировать температуру теплоносителя по термометрам и с целью определения начала замеров убедиться, что калорифер начал прогреваться.
3. Подождать, пока на термометре будет показание температуры не ниже 30 °С, при этом нужно периодически открывать вентиль для спуска воды в мерный сосуд.
4. Включить вентилятор.
5. Произвести замеры расходов теплоносителя по манометру или мерному сосуду.
6. Осуществить замеры динамического, статического и полного давлений по микроманометрам.
7. Произвести замеры по термометрам.
8. Для повышения точности в определении коэффициента теплопередачи калорифера замеры рекомендуется выполнять не менее десяти раз при различных температурах и расходах теплоносителя.
9. После замеров отключить подачу теплоносителя и включить вентилятор .
10. Замеры занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

ТАБЛИЦА ЗАМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН

№ п/п	Наименование измеренных величин	Размерность	Номера замеров										Среднее значение показаний
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Температура воды до калорифера												
2	Температура воды после калорифера												
3	Температура воз- духа до калори- фера												
4	Температура воздуха после калорифера												
5	Перепад жидкости по И-образному манометру на теплоносителе												
6	Полное давление по микроманомет- ру в воздуховоде до калорифера												
7	То же после калорифера												
8	Динамическое дав- ление по микрома- нометру в воздухо- воде до калорифера												

Окончание табл.5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9	То же после калорифера												
10	Статическое давление по микроманометру в воздуховоде до калорифера												
11	То же после калорифера												

Таблица 5.2

ТАБЛИЦА ВЫЧИСЛЕННЫХ ВЕЛИЧИН

Температурный напор по теплоносителю, °С	Температурный напор по воздуху, °С	Расход теплоносителя через калорифер, кг/ч	P _V		P _{SV}		P _{dV}		V _b , м/с	Расход воздуха через калорифер, м ² /ч	Сопротивление калорифера, Па	Коэффициент теплопередачи калорифера, Вт/(м ² ·°C)	Примечание
			До калорифера, Па	После калорифера, Па	До калорифера, Па	После калорифера, Па	До калорифера, Па	После калорифера, Па					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Определяются температурные напоры по теплоносителю и по воздуху как разность нагретой и охлажденной сред.
2. Расход теплоносителя определяется по показаниям U-образного манометра, к которому прикладывается тарировочная кривая или аналитическая зависимость. Вторым вариантом определения расхода теплоносителя является взвешивание мерного сосуда после определенного периода работы установки.
3. Вычисляется погрешность измеряемых величин.
4. Переводятся показания микроманометра из мм спиртового столба в Паскали по известной формуле для полного, статического и динамического давлений.
5. Рассчитывается скорость в воздуховоде по динамическому давлению
6. Из условия неразрывности потока определяется расход воздуха через калорифер
7. По формулам (5.3), (5.4) определяется тепловой поток от теплоносителя к воздуху через стенки калорифера.
8. По формуле (5.1) находится коэффициент теплопередачи
9. Определяется сопротивление калорифера как разность полных давлений в воздуховодах до калорифера и после калорифера.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. С какой целью производится испытание калорифера?
2. Какая величина является определяющей для теплопередачи калориферов?
3. От каких величин зависит коэффициент теплоотдачи калорифера?
4. Какие зависимости определяют коэффициент теплопередачи калориферов при использовании экспериментальных замеров?
5. Зачем определяют величину сопротивления калорифера?
6. От чего зависит величина сопротивления калорифера?
7. Как экспериментально определить величину сопротивления калорифера?

Л и т е р а т у р а

Проектирование промышленной вентиляции: справочник /Б.М. Торговников [и др.]. – Киев: Будивельник, 1983.

Лабораторная работа 6

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ЦИКЛОНА ТИПА ЦН-15

Ц е л ь р а б о т ы – изучить принципиальную схему циклона, схему движения воздушного потока в циклоне, а также последовательность действия сил, создающих частицы пыли в циклоне. Научиться определять расход воздуха, поступающего в циклон на очистку, потери полного давления в циклоне и коэффициент местного сопротивления (КМС) циклона.

Для выполнения лабораторной работы необходимы следующие Приборы: микроманометр в комплекте с пневмометрической трубкой; метр стальной или мерная рулетка; анемометр чашечный; секундомер; спиртовой термометр; барометр-анероид.

Определение гидравлического сопротивления и КМС циклона

Циклоны являются простейшими центробежными пылеуловителями. Они применяются в вентиляционной технике для очистки воздуха, загрязненного пылью. Достоинство циклонов как пылеочистных устройств заключается в простоте конструкции, компактности, легкости обслуживания и достаточно высоком коэффициенте очистки для крупных фракций (более 10 мм) сухой пыли (60...80 %). Отделение частиц пыли от воздуха в циклоне осуществляется под действием сил инерции, центробежных и гравитационных сил.

На рис. 6.1 изображен циклон, который состоит из следующих элементов:

- 1 – входного патрубка круглого или прямоугольного сечения;
- 2 – цилиндра;
- 3 – выхлопной трубы;
- 4 – конуса;
- 5 – пылеотводящего патрубка;
- 6 – винтовой направляющей плоскости.

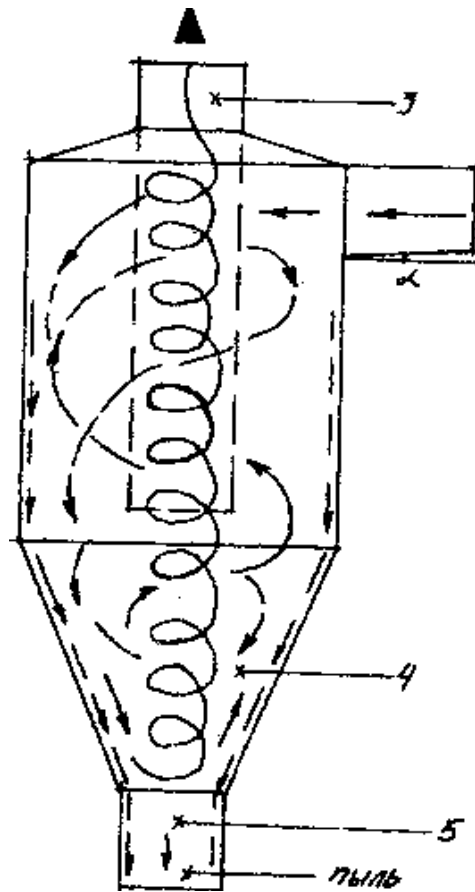


Рис.6.1. Схема циклона

Пылеотделение происходит следующим образом. Запыленный воздушный поток через входной патрубок 1 поступает в цилиндр 2, входя тангенциально в цилиндрическую часть циклона, поток приобретает вращательное, спиралеобразное движение вокруг выхлопной трубы 3 и опускается вниз. При входе в циклон частицы пыли под действием сил инерции стремятся сохранить свое первоначальное направление. Под действием центробежных сил, возникающих при круговом, вращательном движении потока воздуха, частицы пыли перемещаются к стенке цилиндра. Соприкасаясь со стенкой цилиндрической части циклона, частицы теряют свою первоначальную скорость и, увлекаемые спиралеобразным движением воздушного потока, под действием уже гравитационной силы выпадают в низ конуса 4. Из конуса через пылеотводящий патрубок 5 частицы поступают в бункер. Спиралеобразное движение воздуха нижней части циклона переходит с нисходящего в восходящий поток, что также способствует выпадению пыли (рис.6.2). Очищенный от пыли воздушный поток выходит из циклона через выхлопную трубу 3.

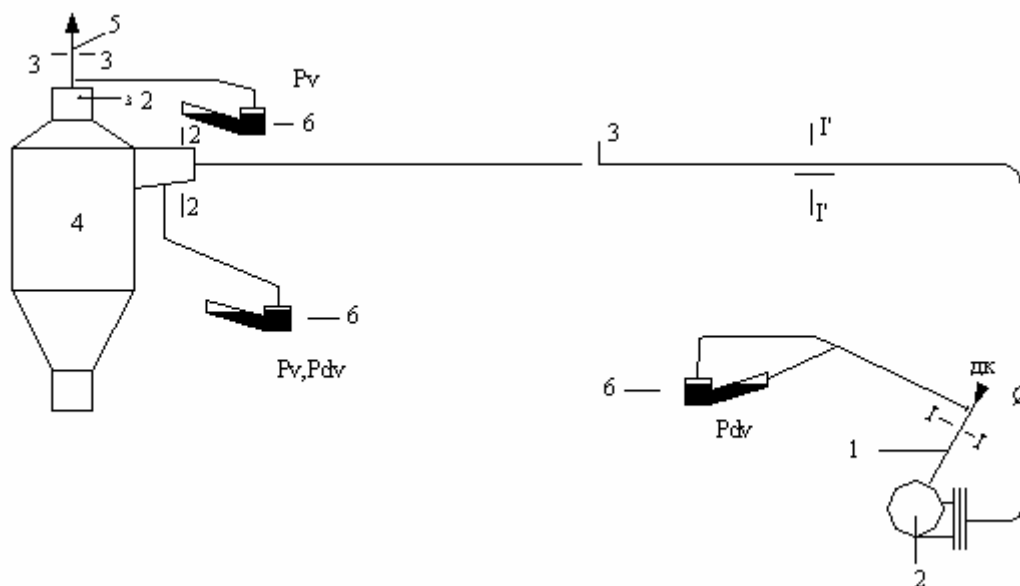


Рис.6.2. Схема стенда:
 1 – всасывающий воздухопровод ($D=192$ мм);
 2 – центробежный вентилятор высокого давления;
 3 – нагнетательный воздухопровод ($D=192$ мм);
 4 – циклон ЦН-15 ($D_{HT}=400$ мм); 5 – выхлопной участок нагнетательного воздухопровода ($D=400$ мм); 6 – микроманометр

Эффективность пылеотделения в циклоне зависит в основном от центробежной силы

$$P = \frac{mV^2}{r};$$

из этого выражения видно, что эффективность очистки возрастает с увеличением массы пылинок m , скорости вращения воздушного потока V и с уменьшением радиуса вращения пылинок r , т.е. чем меньше будет диаметр (радиус) циклона, тем выше эффективность очистки воздуха в нем.

Каждый циклон характеризуется величиной гидравлического сопротивления ΔP_v , Па, оказываемого им при прохождении через него воздушного потока. Гидравлическое сопротивление циклона вычисляют по формуле

$$\Delta P_v = \xi_{\text{ц}} \frac{V_{2\text{вх.п}}^2 \rho_t}{2} g, \text{ Па},$$

где $\xi_{\text{ц}}$ – коэффициент местного сопротивления циклона;

$V_{\text{вх.п}}$ – скорость во входном патрубке циклона, м/с;

ρ_t – плотность перемещаемого воздуха, кг/м³.

В опытной установке гидравлическое сопротивление испытываемого циклона измеряют по перепаду полных давлений в сечениях до (сеч. 2-2) и после него (сеч. 3-3).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Вначале определяют динамическое давление во всасывающем или нагнетательном воздухопроводе сети, Па, по формуле

$$P_{dv}^{1-1} = (l - l_0) \sin \alpha \rho_{\text{ж}} g k_{\text{м}} k_T \Delta, \text{ Па.}$$

2. Затем вычисляют скорость движения потока в поперечном сечении воздухопровода:

$$V = \sqrt{\frac{2P_{dv}^{\phi}}{\rho_t}}, \text{ м/с,}$$

где P_{dv}^{ϕ} – среднее динамическое давление в рассматриваемом сечении, Па;

ρ_t – плотность перемещаемого воздуха, кг/м³, определяемая с учетом температуры воздуха в помещении:

$$\rho_t = \frac{353}{273 + t}, \text{ кг/м}^3.$$

Примечание. При наличии нескольких рабочих звеньев студентов скорость движения воздушного потока в воздуховоде на линии всасывания следует замерять с помощью микроманометра или чашечного анемометра, а на линии нагнетания – с помощью микроманометра (сеч. 1'–1').

3. Подсчитывают расход воздуха в сети:

$$L = f_c V 3600, \text{ м}^3/\text{ч,}$$

где f_c – площадь воздухопровода в рассматриваемом сечении, м².

4. Находят полные давления до и после циклона в сеч. 2-2 и 3-3:

$$P_v^{2-2} \text{ и } P_v^{3-3}, \text{ Па.}$$

5. Замеряют динамическое давление перед циклоном в сечении 2-2:

$$P_{dv}^{2-2}, \text{ Па.}$$

6. Гидравлическое сопротивление циклона определяют по разности полных давлений до и после циклона:

$$\Delta P_v = P_v^{2-2} - P_v^{3-3}, \text{ Па.}$$

7. По известным значениям ΔP_v и ΔP_v^{3-3} вычисляют КМС циклона:

$$\xi_{\text{ц}} = \frac{\Delta P_v}{P_{dv}^{2-2}}.$$

Примечания:

1. КМС циклона принимают как среднее из трех значений, полученных при разных расходах.

2. В вашем случае КМС циклона уточняют, вводя поправку на величину КМС перехода перед циклоном, т.е. $\xi_{\text{ист}} = \xi_{\text{ц}} - 0,1$.

Данные измерений и расчетов заносят в таблицу.

Но- мер за- ме- ра	P_{dv}^{1-1} или $P_{dv}^{1'-1'}$, Па	V , м/с	L , м ³ /ч	P_{dv}^{2-2} , Па	P_v , Па			$\xi_{\text{ц}}$	$\xi_{\text{ист}}$
					P_v^{2-2}	P_v^{3-3}	ΔP_v		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
3									

Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение циклона и его конструктивное исполнение (поэлементно).
2. Как определяется расход воздуха в сети и на входе в циклон?
3. Объяснить, как определяются потери полного давления в циклоне.
4. Объяснить принцип осаждения пыли в циклоне.
5. Сопоставить $\xi_{\text{ист}}$ и $\xi_{\text{табл}}$ циклона ЦН-15.

Литература

1. Журавлев, Б.А. Наладка и регулировка систем вентиляции и кондиционирования воздуха: справочное пособие / Б.А. Журавлев. – М.: Стройиздат, 1980.
2. Единая методика сравнительных испытаний пылеуловителей для очистки воздуха. – Л: Стройиздат, 1987.

Лабораторная работа 7

ИСПЫТАНИЯ РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Ц е л ь р а б о т ы – по результатам экспериментальных исследований радиального вентилятора построить его аэродинамические характеристики (первое занятие) и характеристику сети (второе занятие).

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Для выполнения лабораторных работ используется стенд, принципиальная схема которого представлена на рис.7.1. Объект исследования – радиальный вентилятор 1 Ц13-50 № 4 с электродвигателем постоянного тока. Колесо вентилятора жестко насажено на вал электродвигателя (исполнение 1). Частота вращения вентилятора регулируется с помощью реостата, включенного в цепь электродвигателя. Нагнетательный патрубок вентилятора соединен с ресивером 2, выполняющим функции камеры торможения потока. Для проведения лабораторных работ по дисциплинам «Аэродинамика» и «Вентиляция» к ресиверу подключена система воздухопроводов с запорными устройствами: шиберами 7, дросселем-клапаном 8, заглушкой 9. При испытаниях вентилятора указанные устройства полностью закрываются.

Воздух подается вентилятором в ресивер из помещения лаборатории через систему всасывания 3 и выбрасывается в помещение лаборатории через плоское конфузорное сопло 4, выполняющее также функции расходомерного устройства. Сопло образовано коробчатым козырьком 5 и профилированной заслонкой 6, которая может перемещаться по вертикали. Это позволяет, изменяя площадь проходного сечения сопла, варьировать подачу вентилятора. При исследовании характеристики сети полностью закрываются шиберы 7, заслонка 6 и устанавливается заглушка 9. Исследуемая сеть состоит из радиального вентилятора 1, ресивера 2, всасывающей 3 и нагнетательной 17 систем.

Для отбора давления на входе в вентилятор и выходе из него предусмотрены штуцеры 10, 11. Микроманометр 12, подключенный к штуцеру 10, измеряет статическое давление на входе в вентилятор P_{s1} . На выходе из вентилятора поток воздуха, истекающий в ресивер 2, резко расширяясь, тормозится, как в трубке ПИТО. Следовательно, в ресивере устанавливается полное давление потока, и микроманометр 12, подключенный к штуцеру 11, измеряет полное давление потока на выходе из вентилятора P_2 . Контроль и измерение параметров тока в цепи электродвигателя и частоты его вращения осуществляются с помощью вольтметра 13, амперметра 14 и тахометра 15. Приборы смонтированы на пульте управления вентиляторным агрегатом 16.

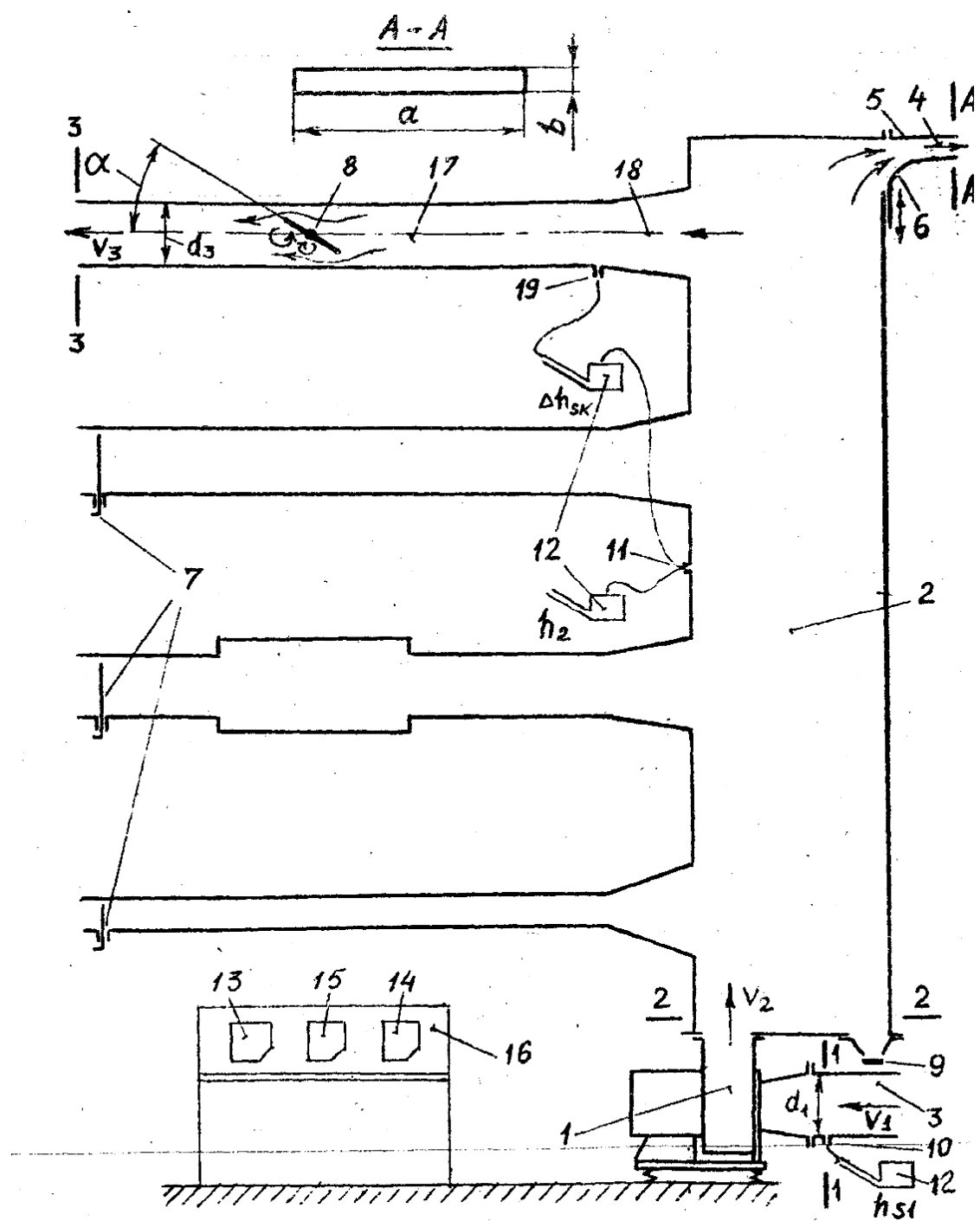


Рис.7.1. Принципиальная схема стенда

Занятие 1

1. ПОСТРОЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯТОРА

Приборы, необходимые для выполнения лабораторной работы: микроманометр типа ММН, термометр, линейка, штангенциркуль.

1.1. Методика построения аэродинамических характеристик вентилятора

Аэродинамическими характеристиками вентилятора называются графические зависимости развиваемого им давления P_B , подведенной к вентилятору мощности N_n и КПД η от объемной подачи L ($P_B - L$, $N_n - L$, $\eta - L$) при постоянных частоте вращения и температуре перемещаемого воздуха ($n = \text{const}$, $T = \text{const}$).

При исследовании аэродинамических характеристик вентилятора его подача L , м³/с, равна расходу воздуха через сопло 4 (см.рис. 7.1) и определяется по формуле, полученной из уравнения Бернулли для потока воздуха, истекающего из сопла в атмосферу:

$$L = ab\mu \sqrt{\frac{P_2}{\rho}}, \quad (7.1)$$

где a, b – ширина и высота проходного сечения на срезе сопла, м;
 $\mu = \sqrt{2/(1+\xi)}$ – коэффициент, характеризующий расходомерное устройство;

ξ – коэффициент местных потерь давления при истечении воздуха из сопла;

ρ – плотность воздуха, кг/м³,

$$\rho = 353/(273+t). \quad (7.2)$$

Здесь t – температура воздуха в помещении лаборатории, °С.

По результатам градуировки расходомерного устройства $\mu = 1,21$.

Давление, развиваемое вентилятором P_B , Па, – это разность полных давлений потока воздуха на выходе из вентилятора P_2 , Па, и на входе в него P_1 , Па. Следовательно,

$$P_B = P_2 - P_1. \quad (7.3)$$

Учитывая, что

$$P_1 = P_{s1} + \rho \frac{V_1^2}{2},$$

где V_1 – средняя скорость потока на входе в вентилятор, м/с,
из (7.3) получим:

$$P_B = P_2 - P_{s1} + \rho \frac{V_1^2}{2}. \quad (7.4)$$

Скорость V_1 определяется по формуле, полученной из уравнений (7.1), (7.3)

$$V_1 = 4 \frac{L}{\pi d_1^2}, \quad (7.5)$$

где d_1 – внутренний диаметр воздуховода на входе в вентилятор, м.

КПД вентилятора определяется из соотношения $\eta = N/N_n$, где полезная мощность, сообщаемая перемещаемому воздуху в вентиляторе, Вт, равна:

$$N = P_B L, \quad (7.6)$$

а мощность, подведенная к вентилятору от электродвигателя, Вт, равна:

$$N_n = \eta_n \eta_\varepsilon N_\varepsilon.$$

Здесь η_n, η_ε – КПД соответственно передачи и электродвигателя.

Электрическая мощность, подведенная к электродвигателю, Вт:

$$N_\varepsilon = UI, \quad (7.7)$$

Здесь U, I – соответственно напряжение, В, и сила тока, А в цепи электродвигателя.

Так как колесо вентилятора жестко насажено на вал электродвигателя, то $\eta_n = 1$. Величина η_ε не постоянная, зависит от мощности, развиваемой электродвигателем и может быть определена по его характеристике. Однако точность определения η_ε таким методом низка и может внести существенную погрешность в окончательный результат определения КПД вентилятора η ; поэтому в данной работе определяется КПД всего вентиляторного агрегата:

$$\eta_{BA} = \frac{N}{N_\varepsilon}, \quad (7.8)$$

Для того чтобы построить семейство характеристик давления вентилятора $P_{Bi} - L_i$ при различных оборотах $n_i = \text{const}$, достаточно получить экспериментальную характеристику $P_{Bi} - L_i$ только при одной частоте вращения рабочего колеса $n = \text{const}$. Характеристики $P_{Bi} - L_i$, соответствующие любым другим оборотам $n_i = \text{const}$ данного вентилятора, можно построить, не прибегая к дополнительному эксперименту с помощью формул пересчета, полученных на основании теории подобия центробежных нагнетателей:

$$L_i = L \frac{n_i}{n}, \quad P_{Bi} = P_B \frac{\rho_i}{\rho} \left(\frac{n_i}{n} \right)^2, \quad (7.9)$$

где L, P_B получены в эксперименте при частоте вращения $n_i = n = \text{const}$.

Как отмечалось ранее, характеристики вентилятора строятся при неизменной температуре перемещаемого воздуха. Тогда соблюдается условие $\rho_i = \rho = \text{const}$, и формулы (7.9) преобразуются к более простому виду:

$$L_i = L \frac{n_i}{n}, \quad P_{Bi} = P_B \left(\frac{n_i}{n} \right)^2, \quad (7.10)$$

Типичный вид характеристик $P_{Bi} - L_i$ при различных оборотах вентилятора ($n_1, n_2, \dots, n_i \dots = \text{const}$) представлен на рис. 7.2.

Важной величиной, определяющей геометрическое и кинематическое подобие радиальных вентиляторов, является удельное число оборотов (быстроходность)

$$n_y = 53\omega \frac{\sqrt{L}}{P_B^{3/4}}, \quad (7.11)$$

где $\omega = \pi n / 30$ – угловая скорость рабочего колеса вентилятора, 1/с;

n – частота вращения колеса, об/м;

L – подача вентилятора, м³/с.

Быстроходность характеризует конструктивные особенности проточных частей вентиляторов, служит для их классификации и подбора. Величина n_y зависит также от режима работы вентилятора и может изменяться от 0 до ∞ , чаще всего величину n_y находят опытным путем.

Характеризуя вентилятор с помощью n_y , относят его обычно к режиму с максимальным КПД.

Значения n_y наиболее распространенных вентиляторов следующие [1], [3]:

Радиальные высокого давления	10-30
Радиальные низкого и среднего давления	
с лопатками колес, загнутыми вперед	30-60
То же с лопатками, загнутыми назад	50-80
Осевые	120-400

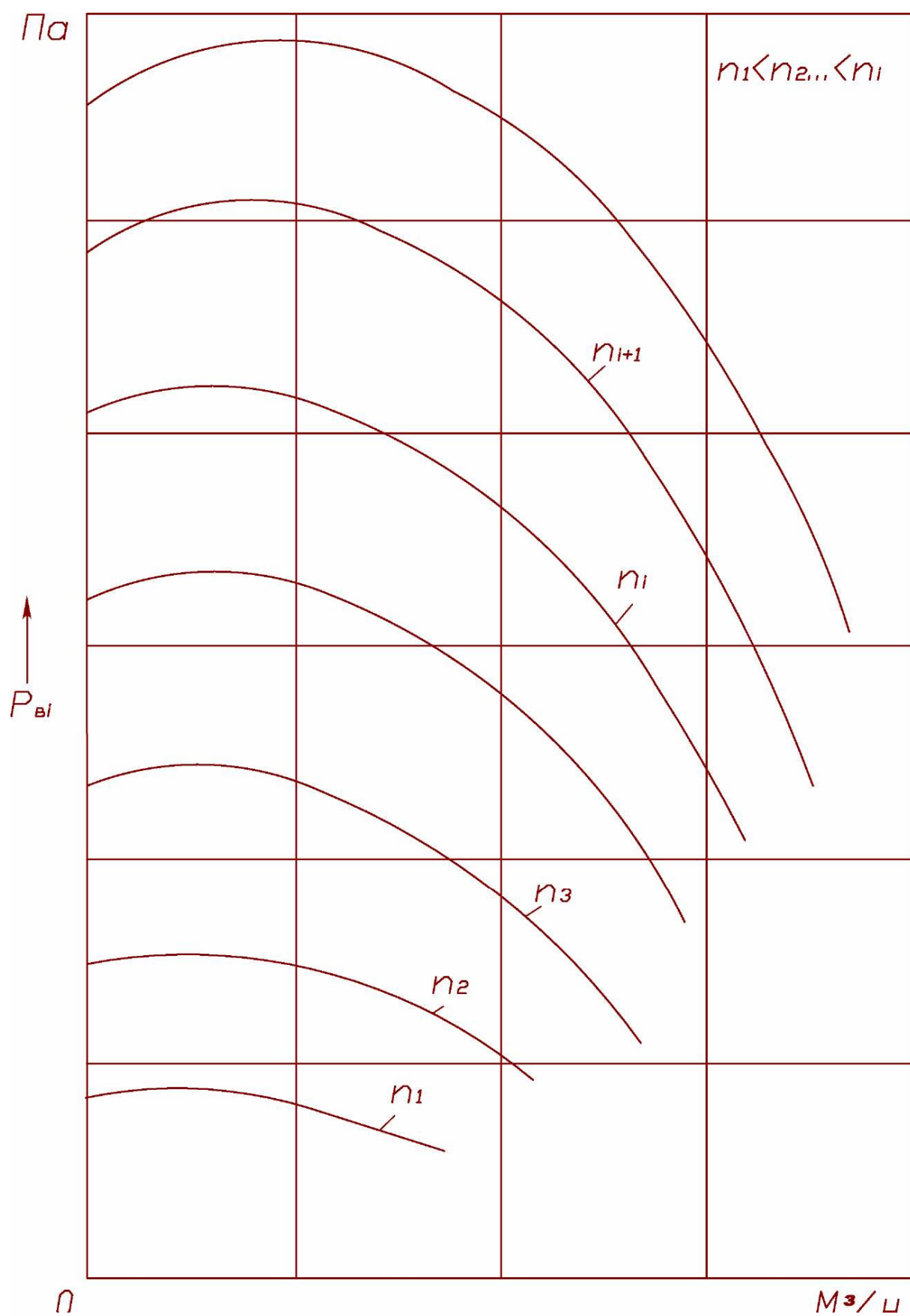


Рис.7.2. Характеристики давления радиального вентилятора при различных оборотах $n_1, n_2, \dots, n_i$

1.2. Методика измерения давления

Схемы подключения микроманометра 12 при измерении полного давления на выходе из вентилятора P_2 и статического давления на входе в вентилятор P_{s1} представлены выше на рис. 7.1. Измеренное им давление P , Па, рассчитывается по формуле

$$P = k g h, \quad (7.12)$$

где k – коэффициент прибора;
 $g = 9,81$ – ускорение свободного падения;
 h – отсчет по шкале прибора мм.

1.3. Последовательность проведения эксперимента

1. Линейкой измерить ширину сопла α , м, и штангенциркулем – диаметр воздуховода d_1 на входе в вентилятор перед конфузоров (см. рис. 7.1).
2. Закрыть полностью заслонку 6, все шиберы 7 и дроссель-клапан 8 на системе воздуховодов. Установить заглушку 9.
3. Запустить вентилятор.
4. Открыть полностью заслонку 6 ($b = b_0 = 0,08$ м).
5. С помощью реостата отрегулировать частоту вращения электродвигателя $n = 1500$ об/мин и поддерживать ее постоянной на всех режимах.
6. Измерить посредством микроманометра давление в ресивере h_2 , мм, и статическое давление на входе в вентилятор h_{s1} , мм.
7. Используя вольтметр и амперметр, измерить напряжение U , В, и силу тока I , А, в цепи электродвигателя.
8. Определить температуру воздуха в помещении с помощью лабораторного термометра.
9. Соблюдая условие $n = 1500$ об/мин = const, измерения по пп. 6, 7 выполнить при пяти промежуточных и предельном – полностью закрытом – положениях заслонки 6, затем прикрыть ее последовательно на $1/6$ полного хода ($b = b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6 = 0$), варьируя таким образом подачу вентилятора. При каждом положении заслонки 6 измерить также высоту b , м, проходного сечения на срезе сопла.

1.4. Обработка опытных данных

и форма представления результатов эксперимента

1. Определить величину полного давления потока на выходе из вентилятора P_2 , Па, и статического давления на входе в него P_{s1} , Па, из соотношения (7.12).

2. Рассчитать по формуле (7.2) плотность воздуха ρ , кг/м³.
3. Вычислить с помощью уравнения (7.1) объемный расход воздуха (подачу вентилятора) через сопло L , м³/с.
4. Определить из соотношения (7.5) среднюю скорость потока на входе в вентилятор V_1 , м/с.
5. Рассчитать по формуле (7.4) давление, развиваемое вентилятором P_B , Па, учитывая знак при P_{s1} .
6. Определить полезную мощность вентилятора N , Вт, с помощью уравнения (7.6).
7. Вычислить по формуле (7.7) электрическую мощность, подведенную к электродвигателю N_s , Вт.
8. Определить КПД вентиляторного агрегата, L , P_B по формуле (7.8).
9. Расчеты по пп. 1...8 выполнить для всех исследованных режимов ($b=b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6=0$).
10. Пересчитать для каждого режима по формулам (7.10) параметры вентилятора L , P_B , полученные экспериментально при $n=1500$ об/мин=const, на следующие обороты рабочего колеса вентилятора: $n_i=n_1=500$ об/мин; $n_i=n_2=1000$ об/мин; $n_i=n_3=2000$ об/мин.
11. Результаты расчетов по экспериментальным данным и по формулам пересчета представить в виде табл. 7.1, 7.2,
12. По данным табл. 7.1, 7.2 выполнить графическое построение экспериментальных аэродинамических характеристик вентилятора $P_B - L$ и вентиляторного агрегата $\eta_{BA} - L$ при $n=1500$ об/мин, а также характеристик, полученных путем пересчета в системе координат P , Па, L , м³/ч, при $P_{Bi} - L_i$ ($P_{B1} - L_1, P_{B2} - L_2, P_{B3} - L_3$) n_1, n_2, n_3 =const.
13. Вычислить удельное число оборотов вентилятора n_v по формуле (7.11).
14. Оценить погрешность выполненных измерений в соответствии с рекомендациями [5].
15. Сделать выводы по работе.

Таблица 7.1

Результаты расчетов, по экспериментальным данным при $n=1500$ об/мин

№ режима	Расчетные величины*															
	$b, \text{ м}$	k	$h_2, \text{ мм}$	$P_2, \text{ Па}$ (7.12)	k	$h_{S1}, \text{ мм}$	$P_{S1}, \text{ Па}$ (7.12)	$L, \text{ м}^3/\text{с}$ (7.1)	$V_1, \text{ м}^3/\text{с}$ (7.5)	$P_B, \text{ Па}$ (7.4)	$N, \text{ Вт}$ (8.6)	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$N_9, \text{ Вт}$ (7.7)	η_{BA} (7.8)	$L, \text{ м}^3/\text{ч}$
0																
1																
2																
3																
4																
5																
6																

Т а б л и ц а 7.2

Результаты пересчета параметров вентилятора

№ режима	Частота вращения колеса вентилятора, об/мин											
	$n_1 = 500$			$n_2 = 1000$			$n = 1500$ (см.табл. 7.1)			$n_3 = 2000$		
	$L, \text{ м}^3/\text{с}$	$L, \text{ м}^3/\text{с}$	$P_B, \text{ Па}$	$L, \text{ м}^3/\text{с}$	$L, \text{ м}^3/\text{с}$	$P_B, \text{ Па}$	$L, \text{ м}^3/\text{с}$	$L, \text{ м}^3/\text{с}$	$P_B, \text{ Па}$	$L, \text{ м}^3/\text{с}$	$L, \text{ м}^3/\text{с}$	$P_B, \text{ Па}$
0												
1												
2												
3												
4												
5												
6												

Занятие 2

2. ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕТИ

2.1. Методика построения характеристики сети

Сетью называют систему воздухопроводов и агрегатов, присоединенных к нагнетателю. Входное и выходное сечения исследуемой сети расположены в помещении лаборатории, поэтому статическое давление в этих сечениях одинаковое и равно атмосферному. Такая сеть называется затопленной.

Потери давления в сети складываются из потерь местных и на трение во всех ее элементах.

Характеристикой сети ($P_C - L$) называется графическая зависимость суммарных потерь давления в сети P_C от расхода воздуха в ней L .

Величина потерь давления в сети изменяется дросселем-клапаном 8 на нагнетательной системе 17 (рис. 7.2). По мере закрывания дросселя-клапана потери давления возрастают – сопротивление сети увеличивается. Таким образом, каждому положению заслонки дросселя-клапана соответствует новая сеть со своей индивидуальной характеристикой.

При выполнении лабораторной работы исследуются три сети с различными сопротивлениями. Обозначим их номерами 1, 2, 3 при положениях заслонки дросселя-клапана $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ (см. рис. 7.2) соответственно.

Для вывода расчетных зависимостей выделим в сети характерные сечения: 1-1 на входе в вентилятор; 2-2 на выходе из него; 3-3 на выходе из сети. Напишем уравнение Бернулли для всасывающей системы

$$P_0 = P_{s1} + \rho \frac{V_1^2}{2} + \Delta P_B, \quad (7.13)$$

и нагнетательной

$$P_{s2} + \rho \frac{V_2^2}{2} = P_0 + \rho \frac{V_3^2}{2} + \Delta P_H, \quad (7.14)$$

где P_0 – давление атмосферы, Па;

P_{s1}, P_{s2} – давление статическое на входе в вентилятор (сечение 1-1) и на выходе из него (сечение 2-2), Па;

V_1, V_2, V_3 – скорость потока в сечениях сети 1-1, 2-2, 3-3, м/с;

$\Delta P_B, \Delta P_H$ – суммарные потери давления во всасывающей системе 3 и нагнетательной 17, Па, соответственно. Величины потерь определим из уравнений (7.13), (7.14):

$$\Delta P_B = P_0 - P_{S1} - \rho \frac{V_1^2}{2},$$

$$\Delta P_H = P_{S1} + \rho \frac{V_2^2}{2} - P_0 - \rho \frac{V_3^2}{2}.$$

Тогда потери в сети P_C , Па, можно определить из соотношения

$$P_C = \Delta P_B + \Delta P_H = P_{S2} + \rho \frac{V_2^2}{2} - \left(P_{S1} + \rho \frac{V_1^2}{2} \right) - \rho \frac{V_3^2}{2}. \quad (7.15)$$

Учитывая, что

$$P_2 = P_{S2} + \rho V_2^2 / 2, \quad P_1 = P_{S1} + \rho V_1^2 / 2,$$

получим

$$P_C = P_2 - P_1 - \rho \frac{V_3^2}{2}, \quad (7.16)$$

где $P_2 - P_1 = P_B$ – давление, развиваемое вентилятором.

Из уравнения (7.16) можно сделать вывод, что давление, развиваемое вентилятором, работающим в сети $P_1 = P_{S1} + \rho V_1^2 / 2$, расходуется на преодоление суммарных потерь давления в сети (сопротивления сети) и на создание динамического давления потока в ее выходном сечении. На основании уравнения (7.16) получим формулу для расчета суммарных потерь давления в исследуемой сети:

$$P_C = P_2 - P_{S1} - \frac{\rho}{2} (V_1^2 + V_3^2). \quad (7.17)$$

Из уравнения (7.17) видно, что для экспериментального определения потерь давления в сети P_C нужно измерить давление P_C , P_{S1} , Па, рассчитать по формуле (7.5) скорость потока V_1 , м/с, на входе в вентилятор, а также скорость V_3 , м/с, на выходе из сети, воспользовавшись соотношением

$$V_3 = 4 \frac{L}{\pi d_3^2}, \quad (7.18)$$

где d_3 – внутренний диаметр воздуховода на выходе из сети (сечение 3-3), м.

Объемный расход воздуха в сети L , м³/с, определяется по измеренному в эксперименте перепаду статического давления $\Delta P_{СК}$ на конфузоре 18 (рис. 7.3). Расчет выполняется по формуле, полученной из уравнения Бернулли для потока в конфузоре

$$L = \frac{\pi}{4} d^2 \mu \sqrt{\frac{\Delta P_{СК}}{\rho}}, \quad (7.19)$$

где $d = d_3$ – диаметр выходного сечения конфузора, м;
 $\mu = \sqrt{2/(1+\xi)}$ – коэффициент, характеризующий мерное устройство;
 ξ – коэффициент местных потерь давления в конфузоре.

По результатам градуировки $\xi = 1,28$.

Для отбора статического давления на выходе из конфузора предусмотрен штуцер 19.

При исследовании каждой сети расход воздуха в ней варьируется не менее шести раз путем изменения частоты вращения рабочего колеса вентилятора. Типичный вид характеристик сетей с различными сопротивлениями представлен на рис. 7.3. Чем больше сопротивление сети, тем круче ее характеристика. Если на построенные характеристики давления вентилятора $(P_B - L)$, $(P_{B1} - L_1)$, $(P_{B2} - L_2)$, $(P_{B3} - L_3)$ наложить в том же масштабе характеристику сети, как показано на рис. 7.4, то получим совмещенные характеристики*. Точки пересечения характеристик вентилятора и сети определяют давление P_B , P_{B1} , P_{B2} , P_{B3} и подачу L , L_1 , L_2 , L_3 вентилятора при работе его в этой сети с оборотами n , n_1 , n_2 , n_3 .

* Совмещенные характеристики строят для анализа совместной работы вентилятора и сети.

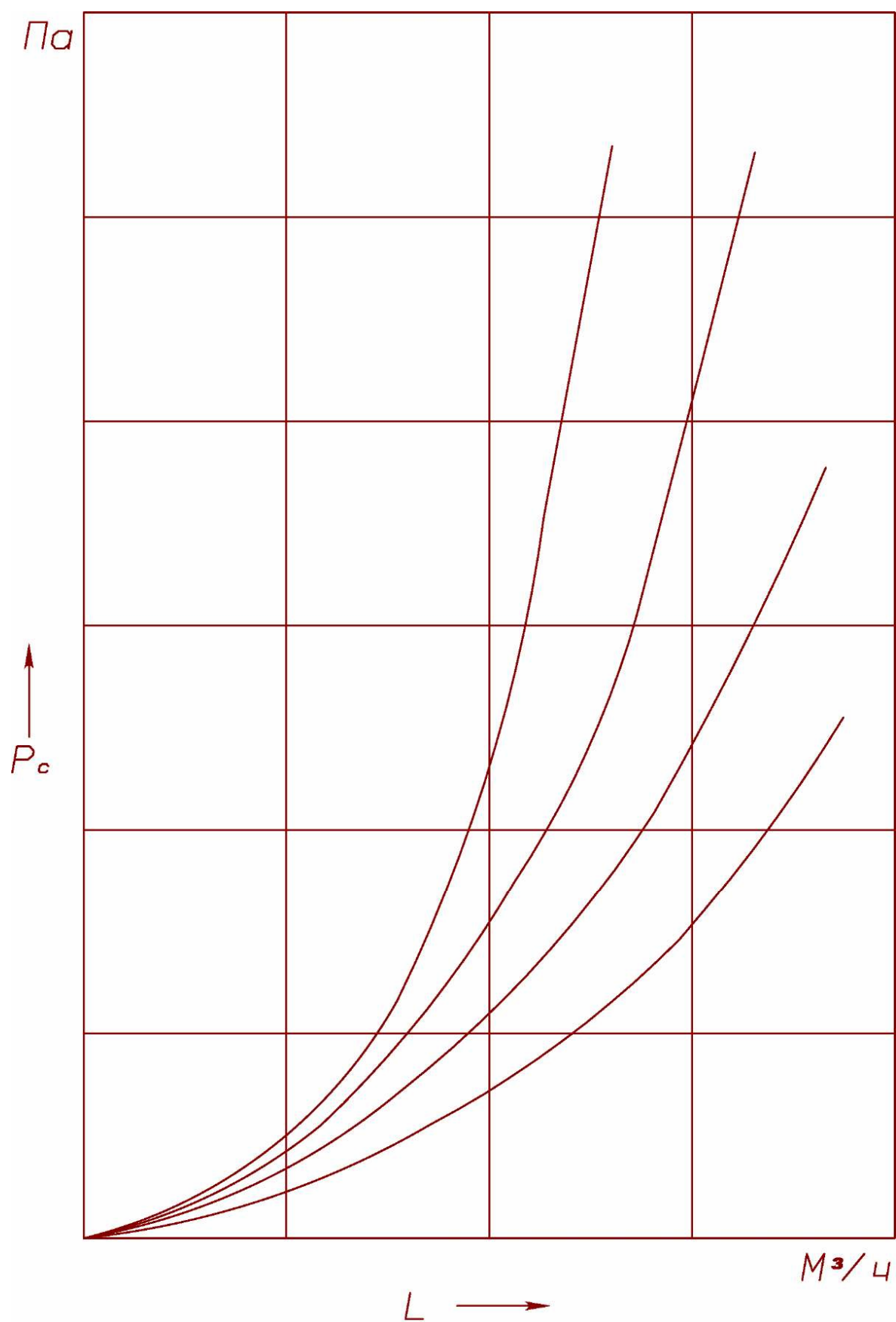


Рис. 7.3. Характеристики сетей с различными сопротивлениями

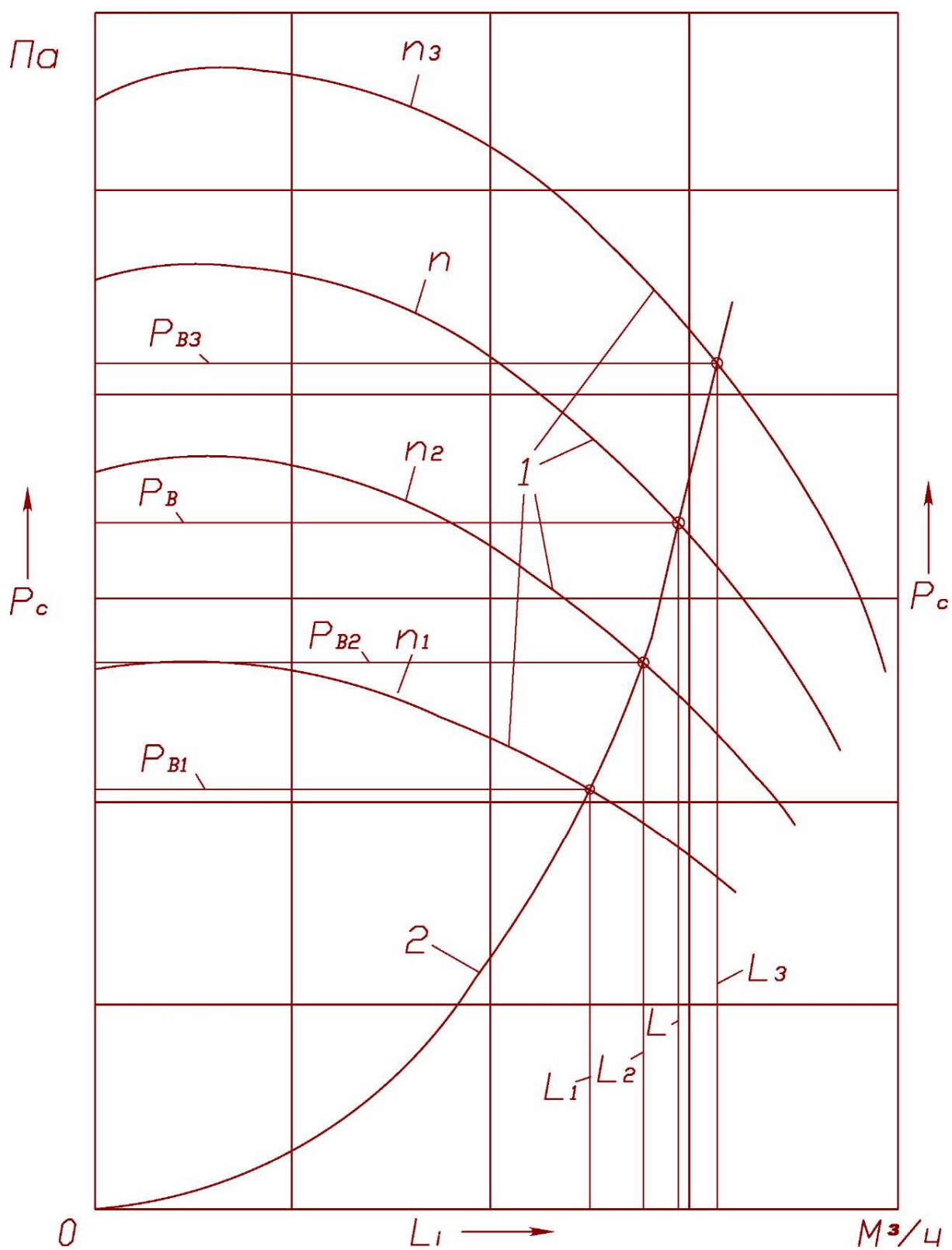


Рис. 7.4. Совмещенные характеристики:
 1 – характеристики давления вентилятора;
 2 – характеристика сети; ° – рабочие точки

2.2. Последовательность проведения эксперимента

1. Измерить штангенциркулем внутренний диаметр воздуховода d_1 на входе в вентилятор и d_3 на выходе из сети (сечения 1-3, 3-3).
2. Закрыть полностью дроссель-клапан 8, заслонку 6, а также все шиберы 7 на системе воздуховодов. Установить заглушку 9.
3. Запустить вентилятор.
4. Установить заслонку дросселя-клапана под углом $\alpha=0^\circ$, соответствующим сети 1.
5. С помощью реостата отрегулировать частоту вращения электродвигателя $n=1700$ об/мин.
6. Измерить с помощью микроманометра 12 давление в ресивере h_2 , мм, статическое давление на входе в вентилятор h_{s1} , мм и перепад статического давления Δh_{sk} , мм, на конфузоре 18. Схема подключения микроманометра дана на рис. 7.1.
7. Измерить температуру воздуха в помещении лабораторным термометром.
8. Измерения по п. 6 выполнить также при следующих оборотах двигателя: $n=1500, 1300, 1100, 800, 500$ об/м.
9. Аналогично исследовать характеристики сетей 2 и 3.

2.3. Обработка опытных данных

1. Определить величину полного давления на выходе из вентилятора P_2 , Па, статического давления на входе в вентилятор P_{s1} , Па, и перепад статического давления на конфузоре ΔP_{sk} , Па, из соотношения (7.12).
2. Рассчитать по формуле (7.2) плотность воздуха ρ , кг/м³.
3. Вычислить с помощью уравнения (7.19) объемный расход воздуха L , м³/с.
4. Определить из соотношений (7.5), (7.18) средние скорости потока V_1, V_3 , м/с, на входе в вентилятор и на выходе из сети.
5. Рассчитать по формуле (7.17) суммарные потери давления в исследуемой сети P_c , Па, учитывая знак при P_{s1} .
6. В вышеперечисленной последовательности выполнить расчеты для сетей 1, 2, 3 на каждом режиме работы вентилятора.
7. Результаты расчетов величин L, P_c представить в виде табл. 7.3.
8. По данным табл. 7.3 выполнить графическое построение экспериментальных характеристик сетей 1, 2, 3 в системе координат P_c , Па; L , м³/ч.
9. Построить совмещенные характеристики вентилятора и всех трех сетей 1, 2, 3.

Таблица 7.3

№ сети	Расчетные величины														
	n , об/м	K	h_2 , мм	P_2 , Па (7.12)	K	H_{s1} , мм	P_{s1} , Па (7.12)	K	M_{SK} мм	$\mathcal{P}_{SK\Pi}$ а (7.12)	L , м ³ /с (7.19)	V_1 , м/с (7.5)	V_3 , м/с (7.18)	P_C , Па (7.17)	L , м ³ /с
1															
2															
3															

10. По рабочим точкам определить подачу и давление, развиваемое вентилятором в сетях 1, 2, 3 на различных частотах вращения.
11. Оценить погрешность выполненных измерений в соответствии с рекомендациями [5].
12. Сделать выводы по работе.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Назовите основные параметры, характеризующие работу вентилятора, и дайте их определение.
2. Какие аэродинамические характеристики вентилятора Вы знаете?
3. Как изменяется давление вентилятора с увеличением подачи?
4. Какие физические величины измерялись в экспериментах и с какой целью?
5. Как определялась подача вентилятора?
6. Дайте определение характеристики сети.
7. Какие характеристики называются совмещенными?
8. Дайте определение рабочей точки. Какие параметры вентилятора она определяет?
9. Для чего применяются формулы пересчета?

Л и т е р а т у р а

1. Черкасский, В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М. Черкасский. – М.: Энергия, 1977. – 362 с.
2. Поляков, В.В. Насосы и вентиляторы / В.В. Поляков, Л.С. Скворцов. – М.: Стройиздат, 1890. – 336 с.
3. Калинушкин, М.П. Вентиляторные установки / М.П. Калинушкин. – М.: Высшая школа, 1979. – 223 с.
4. Калинушкин, М.П. Насосы и вентиляторы / М.П. Калинушкин. – М.: Высшая школа, 1987. – 195 с.
5. Методические указания к лабораторным работам по курсу "Метрология, стандартизация и управление качеством". – Пенза, 1991. – 48 с.

Лабораторная работа 8

ПОСТРОЕНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Ц е л ь р а б о т ы – экспериментально определить рабочие характеристики и коэффициент быстроходности центробежного насоса.

Исследуемые параметры

Практическими параметрами, характеризующими работу насоса, являются:

- объемная подача L , м³/с;
- напор, H_H , м, создаваемый насосом,

$$H_H = H_2 - H_1, \quad (8.1)$$

где H_2 , H_1 – избыточный полный напор жидкости на входе в насос и выходе из него, м;

- полезная мощность насоса N , сообщенная жидкости, Вт;
- КПД насоса:

$$\eta = \frac{N}{N_3}, \quad (8.2)$$

где N_3 – мощность, затрачиваемая на привод насоса, Вт;

- число оборотов рабочего колеса насоса n , об/мин.

Характеристики насоса – это функциональные графические зависимости между его параметрами. Различают теоретические и действительные характеристики.

Теоретические характеристики рассчитывают с помощью основных математических уравнений, описывающих течение жидкости в насосе.

Действительные характеристики насоса получают путем его опытных испытаний.

Теоретические характеристики показывают качественную зависимость между параметрами насоса, действительные – количественную, поэтому последние называют рабочими характеристиками. К ним относятся зависимости напора, затраченной мощности и КПД от подачи: $H_H = F_1(L)$; $N_3 = F_2(L)$; $\eta = F_3(L)$ – при постоянных оборотах колеса и температуре перемещаемой жидкости. Типичный вид характеристик центробежного насоса показан на рис. 8.1.

Из теории подобия центробежных насосов известно, что подача, напор и полезная мощность при произвольных оборотах колеса n_i определяются по формулам:

$$L_i = L \frac{n_i}{n}; H_{ni} = H_n \left(\frac{n_i}{n} \right)^2; N_{zi} = N_n \left(\frac{n_i}{n} \right)^3, \quad (8.3)$$

где величины L , n , H_n , N_n известны из эксперимента.

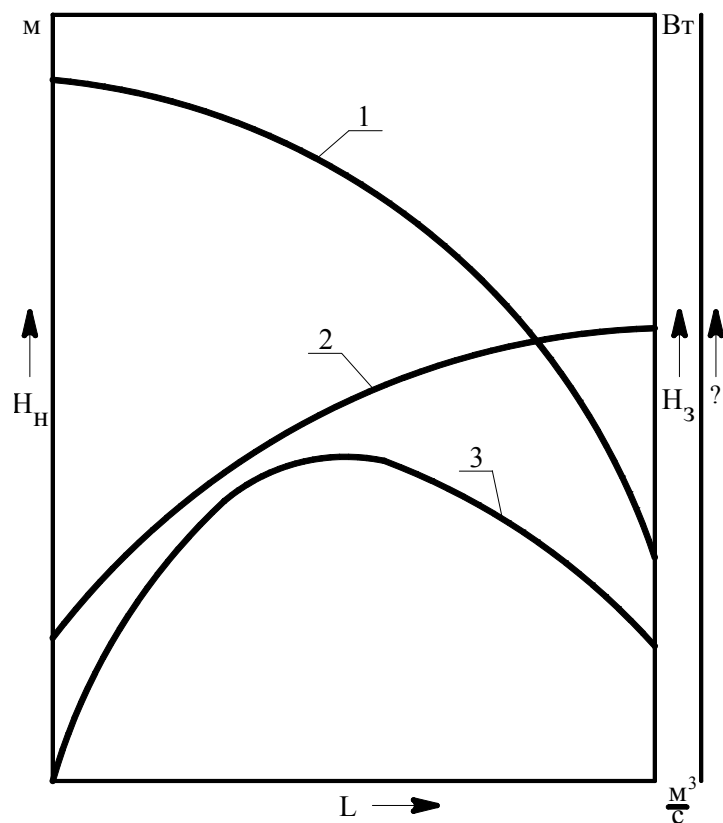


Рис. 8.1. Характеристики центробежного насоса при $n = \text{const}$:
1 – $H_n = F_1(L)$; 2 – $N_3 = F_2(L)$; 3 – $\eta = F_3(L)$

На основании соотношений (8.3) полученные экспериментальным путем характеристики $H_n = F_1(L)$; $N_3 = F_2(L)$ для числа оборотов n можно пересчитать на другие обороты: $n_1, n_2, \dots, n_i$ – и получить семейство характеристик без дополнительных испытаний насоса.

Важной величиной, определяющей подобие течений в насосах, является коэффициент быстроходности:

$$n_s = 3,65 \cdot n \frac{L^{1/2}}{H^{3/4}}. \quad (8.4)$$

Он характеризует конструктивные особенности проточных частей насосов, служит для их классификации и подбора. Величина n_s зависит также от режима работы и может изменяться от 0 до ∞ .

Характеризуя насос с помощью коэффициента n_s , обычно относят его к режиму с максимальным КПД.

Значения n_s наиболее распространенных насосов следующие:

✓ вихревые	10 – 40;
✓ центробежные	40 – 300;
✓ осевые	600 – 1200.

Зная коэффициент быстроходности, можно определить тип насоса. Обычно величина n_s находится опытным путем.

Описание лабораторного стенда

Принципиальная схема стенда дана на рис. 8.2. Центробежный насос 1 присоединен к кольцевому трубопроводу 2, имеющему регулировочные вентили 3, 4, позволяющие изменять сопротивление сети, и мерную диафрагму 5 с водяным дифманометром 6 для измерения подачи. На входе в насос и выходе из него в системе имеются камеры торможения потока 7, к которым подключены пружинные манометры 8, 9, расположенные на одном уровне. Так как поток воды в камерах 7 резко расширяется и практически полностью останавливается, то манометры 8, 9 измеряют полный напор на входе в насос H_1 и выходе из него H_2 . Это позволяет по разности показаний манометров определить напор, развиваемый насосом: $H_H = H_2 - H_1$.

Для изменения подачи насоса при снятии характеристик сети в системе имеется перепускной участок 10 с регулировочным вентилем 11. При полностью открытом вентиле он имеет существенно меньшее сопротивление, чем сеть, и основной расход воды циркулирует от нагнетательного патрубка насоса к всасывающему через перепускной участок. Расход сети в этом случае минимальный. Постепенно закрывая вентиль 11, можно плавно увеличивать сопротивление перепускного участка и, соответственно, расход в системе, так как количество циркулирующей жидкости уменьшается.

Уровень воды в баке 12 расположен выше рабочего колеса насоса. Это позволяет создать подпор во всасывающем участке сети.

Температура воды измеряется термометром 13.

Внимание! Во избежание нарушения герметичности системы давление по манометру 9 во всех опытах не должно превышать 70 делений.

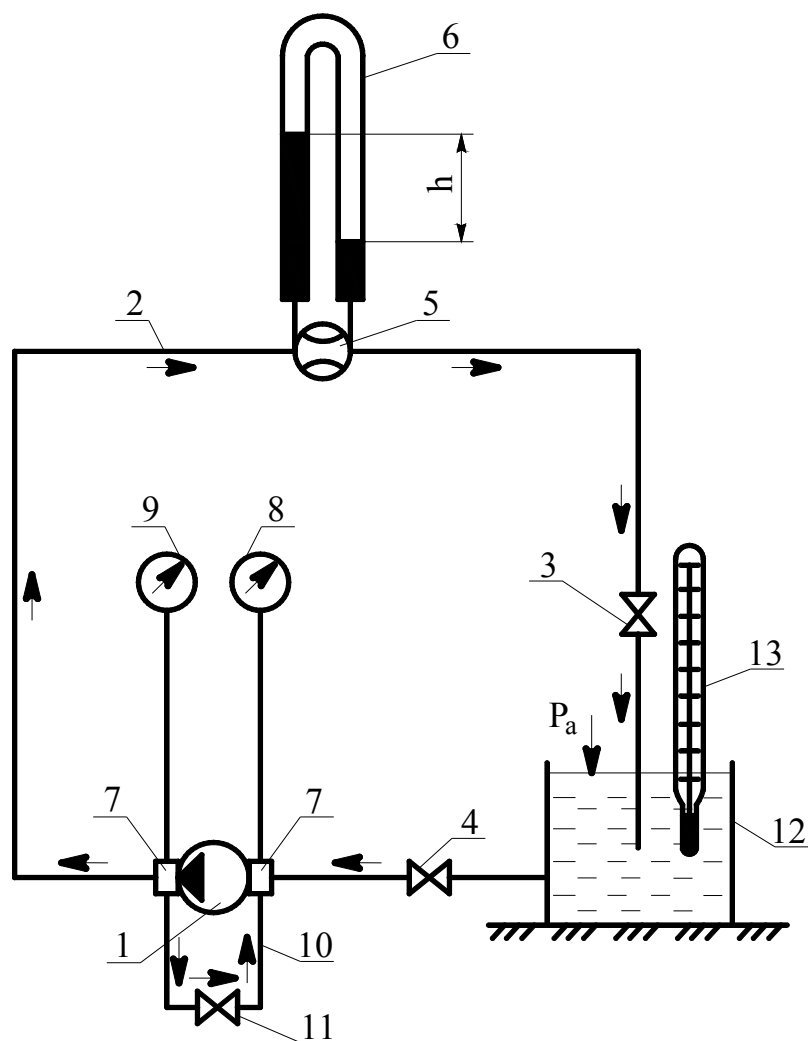


Рис. 8.2. Принципиальная схема лабораторного стенда для испытания центробежного насоса и гидравлической сети

Последовательность проведения эксперимента

1. Закрыть вентиль 11.
2. Открыть полностью вентили 3, 4.
3. Включить насос.
4. С помощью вентилей 3 и 4 увеличить напор за насосом до предельной величины $H_{2 \text{ lim}}$, соответствующей 70 делениям шкалы манометра 9.
5. Варьируя вентилем 3 напор воды до минимального с шагом в 5 делений по шкале манометра 9, измерить на каждом режиме следующие величины:
 - избыточный напор на входе в насос H_1 и выходе из него H_2 манометрами 8, 9 по делениям шкал приборов с учетом знаков;
 - перепад, давлений h , мм, в мерной диафрагме 5 дифманометром 6.

Обработка опытных данных и форма представления результатов работы

1. По измеренным в эксперименте величинам определить параметры насоса на каждом режиме работы:

- объемную подачу L , м³/с, которую можно вычислить по формуле

$$L = K\sqrt{h}, \quad (8.5)$$

где $K = 8,3 \cdot 10^{-5}$ – градуировочный коэффициент мерной диафрагмы;

- напор H_H , м, создаваемый насосом:

$$H_H = H_2 - H_1; \quad (8.6)$$

- полезную мощность насоса N , Вт:

$$N = \rho \cdot q \cdot H_H \cdot L, \quad (8.7)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³;

q – ускорение свободного падения, м/с².

2. Рассчитать число оборотов насоса n , об/мин, на всех исследованных режимах:

$$n = K_1 L + K_2 \sqrt{\frac{N}{L}}, \quad (8.8)$$

где $K_1 = 5 \cdot 10^5$; $K_2 = 7,5$ – постоянные коэффициенты.

3. Определить наибольшую величину $n = n_{\max}$.

4. Проверить стационарность всей серии режимов по оборотам с помощью соотношения

$$\Delta n = \left(\frac{n_{\max} - n}{n_{\max}} \right), \quad (8.9)$$

где n – обороты текущего режима.

При $n \leq 0,05$ на всех режимах условие $n = \text{const}$ соблюдается.

5. Если $n \neq \text{const}$, то результаты испытаний надо привести к постоянным оборотам $n_i = n_{\max} = \text{const}$ путем пересчета по формулам (8.3). К величинам, известным из эксперимента, в этом случае относятся обороты насоса n (см.п.2) и его параметры L , H_H , N (см.п.1). Полученные в результате пересчета значения L , H_H , N соответствуют условию $n_i = n_{\max} = \text{const}$.

6. Построить на одном рисунке рабочие характеристики напора $H_H = F_1(L)$; $H_{H_i} = F_{1i}(L_i)$ и полезной мощности $N_i = F_{2i}(L_i)$ при $n_i = n_{\max} = \text{const}$ в масштабе 1 см – 10 Вт, 1 м, $2 \cdot 10^{-4}$ м³/с.

7. Полученные экспериментальным путем характеристики насоса $H_{ii}=F_{1i}(L_i)$, $N_i=F_{2i}(L_i)$ для $n_i=n_{\max}=\text{const}$ пересчитать с помощью соотношений (8.1) на другие числа оборотов колеса $n_i=0,7 \cdot n_{\max}$, $n_i=0,6 \cdot n_{\max}$. По результатам расчетов сделать графическое построение пересчитанных характеристик совместно с экспериментальными.

8. Результаты опытных измерений и расчетов занести в таблицу, оформленную по образцу табл. 8.1.

9. Рассчитать по формуле (8.4) значение коэффициента быстроходности n_s для минимальной и максимальной подач насоса на всех оборотах рабочего колеса.

10. Оценить максимальную и минимальную относительные погрешности измерения напора насоса $\delta H_{\max}$, $\delta H_{\min}$, считая, что класс точности на шкалах манометров не указан.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Назовите основные параметры, характеризующие работу насоса.
2. Какие величины измеряются в опыте?
3. Как изменяется напор, создаваемый центробежным насосом, с увеличением подачи?
4. Назовите тип расходомерного устройства, примененного для измерения подачи насоса.
5. Объясните назначение перепускного участка в системе.

Т а б л и ц а 8.1

Результаты опытных измерений и расчетов

№ п/п	h , мм	L , м ³ /с	H_{1p} , м	H_{2p} , м	H_{np} , м	N , Вт	n , об/м ин	$n_i = n_{max} = \text{const}$			$n_i = 0,7n_{max} = \text{const}$			$n_i = 0,6n_{max} = \text{const}$		
								L_{ip} , м ³ / с	H_{ip} , м	N_{ip} , Вт	L , м ³ /с	H_{np} , м	N , Вт	L , м ³ /с	H_{np} , м	N , Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
фор- мула	-	(8.3)	-	-	(8.4)	(8.5)	(8.6)	(8.1)	(8.1)	(8.1)	(8.1)	(8.1)	(8.1)	(8.1)	(8.1)	(8.1)
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																

Лабораторная работа 9 ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СЕТИ

Ц е л ь р а б о т ы – получить экспериментальную характеристику гидравлической сети. Методом наложения характеристик сети и центробежного насоса определить его подачу и напор.

Определение рабочей точки

Характеристика гидравлической сети – это графически представленная зависимость её сопротивления H_c , м, от расхода жидкости в ней L , м³/с: $H_c = F(L)$.

Если на полученную в лабораторной работе 8 напорную характеристику центробежного насоса $H_{ni} = F_{1i}(L_i)$ наложить построенную в том же масштабе характеристику сети $H_c = F(L)$, как показано на рис.9.1, то точка их пересечения определит напор H_n и подачу L' насоса при работе в данной сети. Упомянутая точка называется рабочей. По ней можно определить полезную мощность насоса N' , Вт. Для этого следует из рабочей точки опустить вертикаль до пересечения с характеристикой мощности $N_i = F_{2i}(L_i)$, а затем через точку пересечения провести горизонталь к шкале W и сделать отсчет мощности N' (см. рис. 9.1).

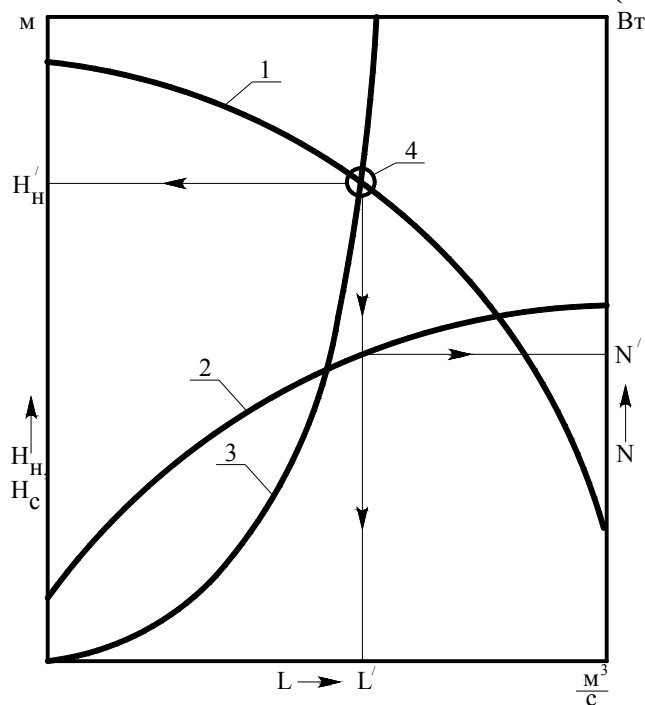


Рис.9.1. Характеристики центробежного насоса и сети:
1, 2, 3 – характеристики насоса $H_{ni} = F_{1i}(L_i)$; $N_i = F_{2i}(L_i)$ и сети, $H_c = F(L)$;
4 – рабочая точка

В лабораторной работе исследуется гидравлическая сеть, представленная на рис.8.2. Её сопротивление изменяется с помощью вентиля 3. Опыты проводятся при трех различных сопротивлениях сети (положениях вентиля 3).

Величины сопротивлений подбираются на максимальном расходе жидкости через сеть по следующим показаниям манометра 9: показанию $H_{c\text{ lim}}$, соответствующему 70 делениям шкалы прибора; $0,75 H_{c\text{ lim}}$; $0,5 H_{c\text{ lim}}$.

Каждому сопротивлению соответствует своя характеристика сети. Обозначим их номерами 1, 2, 3 при $H_{c\text{ lim}}$; $0,75 H_{c\text{ lim}}$; $0,5 H_{c\text{ lim}}$ соответственно.

Последовательность проведения эксперимента:

1. Закрыть вентиль 11 (см. рис. 8.2).
2. Открыть полностью вентили 3,4.
3. Включить насос.
4. С помощью вентиля 3 отрегулировать по показаниям манометра 9 сопротивление сети, соответствующее $H_{c\text{ lim}}$.
5. Варьируя вентилем 11 расход воды в системе с шагом 5 делений по шкале манометра 9 до минимума, измерить на каждом режиме следующие величины:
 - напор перед насосом H_1 и за ним, H_2 манометрами 8,9 в делениях шкал приборов с учетом знаков;
 - перепад, давлений h , мм, в мерной диафрагме 5 дифманометром 6.
6. Измерения по п.5 сделать при трех различных сопротивлениях сети, соответствующих характеристикам 1, 2, 3.

Обработка опытных данных и форма представления результатов работы:

1. По измеренным в эксперименте величинам определить основные параметры системы на каждом режиме:
 - расход воды L , м³/с, по формуле (8.5);
 - сопротивление сети H_c , м, по формуле

$$H_c = H_2 - H_1$$

2. Результаты опытных измерений и расчетов занести в таблицу, оформленную по образцу табл.9.1.

3. Сделать графическое построение характеристик сети $H_c = F(L)$. Масштаб графиков указан в лабораторной работе 8.

4. Определить с помощью метода наложения характеристик по рабочей точке основные параметры насоса: L' , м³/с; H' , м; N' , Вт, – при

работе в исследуемой сети. Характеристики насоса $H_{ni}=F_{1i}(L_i)$; $H_{ni}=F_{1i}(L_i)$; $N_i=F_{2i}(L_i)$ принять по результатам исследований лабораторной работы 8.

Т а б л и ц а 9.1

Результаты опытных измерений и расчетов

Номер характеристики	Номер режима	H_1 , v	H_2 , м	H_c , м	h , мм	L , м ³ /с
1	2	3	4	5	6	7
1	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
2	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
3	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Сформулируйте определение характеристики сети.
2. Как изменяется сопротивление сети с увеличением расхода воды в ней?
3. Каким образом в эксперименте осуществляется изменение расхода воды через сеть?
4. В чем заключается метод наложения характеристик? Для чего он применяется?
5. Дайте определение рабочей точки. Какие параметры насоса она определяет?
6. Какие величины измерялись в опыте?

Лабораторная работа 10

ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Цель работы – получить кавитационные характеристики и определить кавитационный коэффициент быстроходности центробежного насоса.

Определение зон кавитации

Сущность кавитации заключается в образовании паровых каверн в тех местах потока, где абсолютное статическое давление снижается до величины, равной давлению насыщенного пара $P_{\text{нп}}$ при данной температуре жидкости. В таких местах происходит вскипание, далее пузырьки пара переносятся в область высоких давлений, где происходит их конденсация. Процесс конденсации протекает мгновенно, и окружающая жидкость устремляется в образовавшиеся пустоты, что сопровождается сильными местными гидравлическими ударами и шумом. Понижение абсолютного статического давления может вызвать парообразование как в одном месте (местная кавитация), так и во всей области течения (общая кавитация).

Уменьшение давления обычно имеет место во всасывающей магистрали, особенно на поворотах. Характерными участками местного понижения давления в колесе центробежного насоса являются входные кромки рабочих лопаток. Кавитация может возникнуть и в напорной магистрали в местах срыва потока с рабочих и направляющих лопаток регулирующих устройств. Общее понижение давления может произойти вследствие увеличения высоты всасывания, возрастания температуры жидкости, понижения давления в резервуаре, из которого она перекачивается.

При развитой кавитации, помимо сильного шума, наблюдаются вибрация насоса, снижение его подачи, напора, полезной мощности и КПД. Такое течение при продолжительном воздействии может вызвать разрушение насоса и системы.

Основные определения и расчетные зависимости

Под *кавитационным запасом* Δh понимается превышение полного абсолютного напора жидкости на входе в насос $H_a + H_1$, м, над напором $H_{\text{нп}}$, м, соответствующим давлению насыщенного пара $P_{\text{нп}}$, Па, при данной температуре жидкости t , °С:

$$\Delta h = H_a + H_1 - H_{\text{нп}}, \quad (10.1)$$

где $H_a = \frac{P_a}{\rho \cdot g}$ – напор, м, соответствующий атмосферному давлению P_a , Па;

H_1 – полный избыточный напор на входе в насос, м.

Кавитационный запас h_k , при котором начинается кавитация, называется *критическим*. Желательно иметь малые значения h_k , так как при этом увеличивается высота всасывания насоса. Величину h_k определяют экспериментально.

Кавитационными, или срывными, характеристиками насоса называются зависимости объемной подачи L , м³/с, напора H_H , м, полезной мощности N , Вт, от кавитационного запаса $L=f_1(h_k)$; $H_H=f_2(h_k)$; $N=f_3(h_k)$. Типичные кавитационные характеристики центробежного насоса имеют вид, показанный на рис. 10.1.

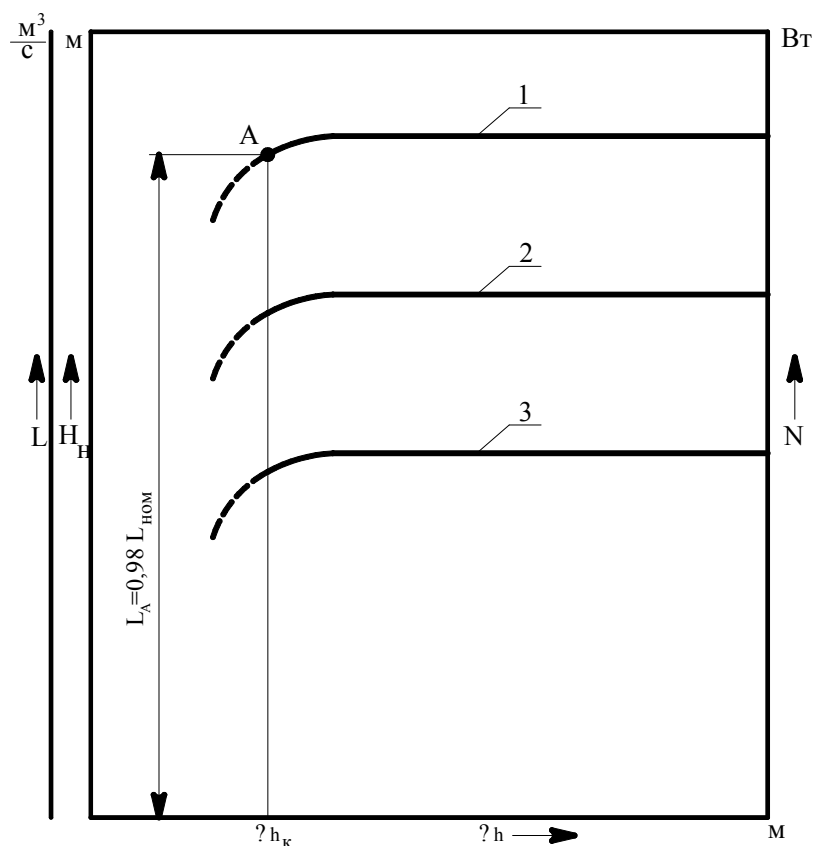


Рис. 10.1. Кавитационные характеристики центробежного насоса:
1, 2, 3 – $L=f_1(\Delta h)$; $H_H=f_2(\Delta h)$; $N=f_3(\Delta h)$

Точно установить величину h_k невозможно, поэтому условно считают, что точке А, в которой подача снижается на 2 % по сравнению с номинальной, соответствует критический кавитационный запас h_k . При $h < h_k$ бескавитационная работа насоса невозможна.

По величине h_k определяется важный безразмерный параметр насоса – кавитационный коэффициент быстроходности

$$c = 5,62 \cdot n \cdot \frac{L_A^{1/2}}{\Delta h_k^{3/4}}, \quad (10.2)$$

где n – число оборотов рабочего колеса, об/мин;

L_A – подача насоса, соответствующая точке A , м³/с (см. рис. 10.1);

h_k – критический кавитационный запас, м.

Величина c зависит от конструктивных особенностей насоса и режима его работы. Для насосов с высокими кавитационными свойствами $c = 800-1500$.

Кавитационные испытания насоса в настоящей работе проводятся на лабораторном стенде (см. рис. 8.2).

В определенных границах изменения h насос должен работать на стационарном режиме – $L, H_n, N = \text{const}$ (см. рис. 10.1).

Это условие обеспечивается перераспределением сопротивлений всасывающей и нагнетательной магистралей. Сопротивление первой увеличивается, а второй – уменьшается на одинаковую величину. В опытах достаточным признаком стационарности режима является условие постоянства напора насоса $H_n = H_2 - H_1 = \text{const}$.

Понижение напора на входе в насос H_1 создается за счет увеличения сопротивления всасывающей магистрали. Плавное уменьшение напора H_1 снижает величину h . При достижении некоторого значения h появляется характерный шум, свидетельствующий о наступлении местной кавитации, но значения H_n и L ещё не изменяются. При дальнейшем уменьшении h нарушается постоянство подачи и напора, их величины снижаются: происходит полный срыв работы насоса.

Последовательность проведения эксперимента:

1. Закрыть вентиль 2 (см. рис. 8.2).
2. Открыть полностью вентили 3, 4.
3. Включить насос.
4. Настроить насос с помощью вентиля 3 на выбранный режим работы в диапазоне от 45 до 60 делений шкалы манометра 9.
5. Плавно перевести насос в режим полного срыва, варьируя вентилями 3, 4 напор перед насосом H_1 и за ним H_2 на одну и ту же величину в сторону понижения: шаг варьирования – не более 3 делений по шкалам манометров 8, 9. Перед каждым шагом измеряются следующие величины:
 - напор на входе в насос H_1 и выходе из него H_2 манометрами 8, 9 в делениях шкал приборов с учетом знаков;

- перепад давлений h , мм, в мерной диафрагме 5 дифманометром 6.
6. После окончания опытов необходимо измерить квазистационарные величины:
- температуру воды t в баке 12, °С, термометром 13;
 - атмосферное давление P_a , Па, с помощью лабораторного барометра.

Обработка опытных данных и форма представления результатов работы

- По измеренным в эксперименте величинам определить для каждого шага варьирования следующие параметры насоса:
 - объемную подачу L , м³/с;
 - напор H_n , создаваемый насосом, м;
 - полезную мощность N , Вт, по формулам (8.5), (8.6), (8.7);
 - кавитационный запас Δh , м, по формуле (10.1) с учетом знака при H_1 . Величину напора $H_{мп}$, м, найти по табл.10.2.

Т а б л и ц а 10.2

Напор $H_{мп}$, соответствующий давлению насыщенного пара воды
в зависимости от температуры

t , °С	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$H_{мп}$, М	0,09	0,12	0,24	0,43	0,75	1,25	2,00	3,17	4,80	7,10	10,33

- Результаты измерений и расчетов занести в таблицу, оформленную по образцу табл.10.3.

Т а б л и ц а 10.3

Результаты опытных измерений и расчетов

Шаг	h , мм	L , м ³ /с	H_1 , м	H_2 , м	H_n , м	N , Вт	$H_{мп}$, м	h , м
1								
2								
3								

- Построить кавитационные характеристики насоса:
 $L=f_1(\Delta h)$; $H_H=f_2(\Delta h)$; $N=f_3(\Delta h)$ – и по кривой $L=f_1(\Delta h)$ определить величину Δh_k , которой соответствует $L_A \approx 0,98$ (см. $L_{ном}$ на рис. 10.1).
- Определить из уравнения (8.9) число оборотов насоса при $L=L_A$.
- Рассчитать кавитационный коэффициент быстроходности s по формуле (10.2).

Контрольные вопросы

1. Почему не допускается работа насоса в режиме развитой кавитации?
2. Каковы причины возникновения кавитации?
3. Что понимается под кавитационным запасом?
4. Поясните принцип построения кавитационных характеристик.
5. Какие свойства насоса характеризует кавитационный коэффициент быстроходности?
6. Как сказывается изменение высоты всасывания на величине кавитационного запаса?
7. Какие величины измеряются при снятии кавитационных характеристик насоса?

Литература

1. Лопастные насосы /под ред. В.А. Зимницкого. – Л.: Машиностроение, 1986. – 250 с.
2. Черкасский, В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М. Черкасский. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 305 с.
3. Калинушкин, М.П. Насосы и вентиляторы / М.П. Калинушкин. – М.: Высшая школа, 1987. – 180 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в практикуме комплексы лабораторных работ охватывают дисциплины «Вентиляция», «Вентиляторы и насосы» учебного плана для студентов специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция», преподавание которых осуществляется на кафедре ТГВ.

Состав лабораторных работ позволяет осуществлять набор необходимого их количества в соответствии с действующими учебными планами.

Лабораторное оборудование для проведения работ является оригинальным, оснащено современными средствами измерений.

Авторы практикума будут очень признательны читателям и пользователям за предложения и замечания, которые можно будет направить по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова 28, корпус 2, кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Приложение 1

Тахометр

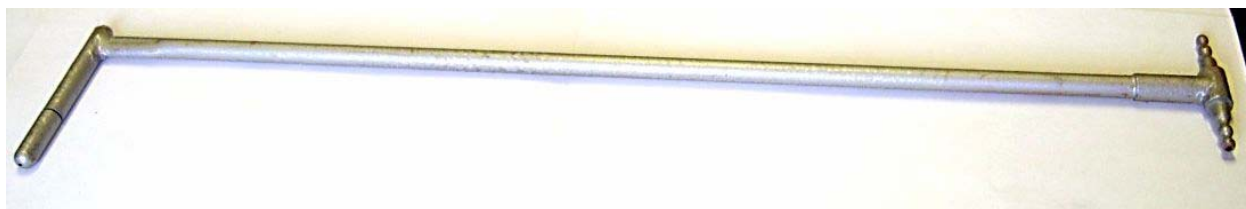


Микроманометр

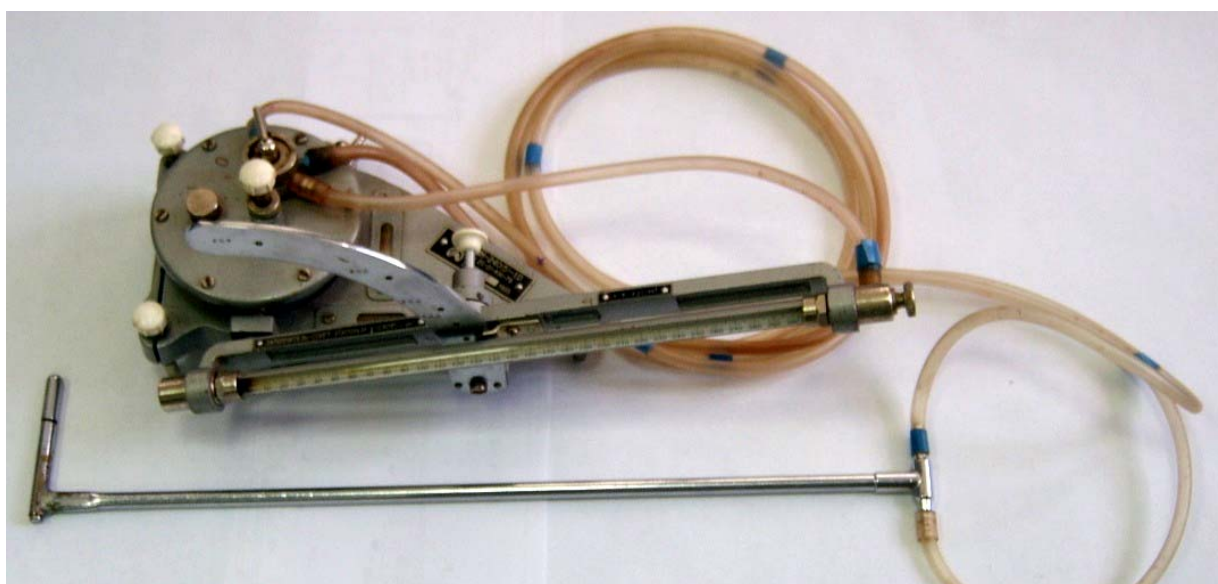


Окончание прил. 1

Трубка Пито



Микроманометр с трубкой Пито



ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ

ГОСТ 8.563.2–97. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ СУЖАЮЩИХ УСТРОЙСТВ)

При выполнении расчетов, связанных с переводом единиц давления или перепада давления из одной системы в другую, рекомендуется использовать соотношения:

$$\checkmark \text{Па} = 10^{-5} \text{ бар} = 1,01972 \cdot 10^{-5} \text{ кгс/см}^2 = 7,5006 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт.ст.} = 1,0197 \cdot 10^{-1} \text{ мм вод.ст.};$$

$$\checkmark \text{бар} = 10^5 \text{ Па} = 1,01972 \text{ кгс/см}^2 = 7,50075 \cdot 10^2 \text{ мм рт.ст.} = 1,0197 \cdot 10^{-1} \text{ мм вод.ст.};$$

$$\checkmark \text{кгс/см}^2 = 9,80665 \cdot 10^4 \text{ Па} = 9,80665 \cdot 10^{-1} \text{ бар} = 7,3556 \cdot 10^2 \text{ мм рт.ст.} = 10^4 \text{ мм вод.ст.};$$

$$\checkmark \text{мм рт.ст.} = 1,3332 \cdot 10^2 \text{ Па} = 1,3332 \cdot 10^{-3} \text{ бар} = 1,3595 \cdot 10^{-3} \text{ кгс/см}^2 = 1,3595 \cdot 10 \text{ мм вод.ст.};$$

$$\checkmark \text{мм вод.ст.} = 9,80665 \text{ Па} = 9,80665 \cdot 10^{-5} \text{ бар} = 10^{-4} \text{ кгс/см}^2 = 7,3556 \cdot 10^{-2} \text{ мм рт.ст.}$$

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ	5
Лабораторная работа 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В КРУГЛОМ ИЛИ ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЗДУХОПРОВОДЕ	18
Лабораторная работа 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТОПЛЕННОЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУИ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ.....	25
Лабораторная работа 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ ПО ДЛИНЕ КРУГЛОГО ВОЗДУХОПРОВОДА	32
Лабораторная работа 5 ИСПЫТАНИЕ КАЛОРИФЕРА	37
Лабораторная работа 6 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ЦИКЛОНА ТИПА ЦН-15	43
Лабораторная работа 7 ИСПЫТАНИЯ РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА.....	48
Лабораторная работа 8 ПОСТРОЕНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА.....	66
Лабораторная работа 9 ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СЕТИ.....	73
Лабораторная работа 10 ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА.....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	81
Приложение 1	82
Приложение 2	84
Приложение 3	85

Учебное издание

Горшков Валентин Иванович
Баканова Светлана Викторовна
Чичиров Олег Константинович

ВЕНТИЛЯЦИЯ
Практикум

Учебное пособие

Р е д а к т о р	М.А. Сухова
В е р с т к а	Н.В. Кучина

Подписано в печать 26.04.2013. Формат 60х84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 5,06. Уч.-изд.л. 5,44. Тираж 80 экз.
Заказ № 88.



Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28

