

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ

ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

**Кафедра механизации животноводства и переработки
сельскохозяйственной продукции**

**ХОЛОДИЛЬНОЕ И ВЕНТИЛЯЦИОННОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ**

Лабораторный практикум

Новосибирск 2023

Кафедра механизации животноводства и переработки
сельскохозяйственной продукции

Составители: доцент, к.т.н. А.А. Диденко
доцент, к.т.н. Е.А. Пшенов

Холодильное и вентиляционное оборудование: Лабораторный практикум /
А.А. Диденко, Е.А. Пшенов: Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер, ин-т. –
Новосибирск, 2023. – 52 с.

Рецензент: доцент, к.т.н. И.В. Тихонкин

Предназначен для студентов направления подготовки «Агроинженерия»
профили – «Машины и оборудование для хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции», «Технические системы и роботизация
пищевых производств».

Утвержден и рекомендован к изданию методическим советом
Инженерного института (протокол № 8 от 28 марта 2023 г.).

© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2023

РАЗДЕЛ ХОЛОДИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Лабораторная работа № 1

Определение длительности охлаждения пищевых продуктов

Цель работы: определить длительность охлаждения конкретного продукта при заданных условиях; исследовать влияние на длительность охлаждения формы геометрических размеров продукта, разности температур; найти количество теплоты, отводимой при охлаждении продукта.

Оборудование, приборы, материалы: среднетемпературный холодильный шкаф, пищевой продукт, термометр цифровой, анемометр.

Ход работы:

1. Ознакомьтесь с рабочей схемой стенда, основными правилами техники безопасности, методикой проведения испытаний и обработки результатов;

2. Найдите типовой геометрический размер продукта, его начальную температуру (t_n) и температуру замораживающей среды (t_s). Установите в продукт термопары термометра цифрового (в центр и на поверхность);

3. Заложите продукт в среднетемпературный холодильный шкаф и производите замеры температур продукта с интервалом в 15 минут до достижения температуры в центре продукта ($t_{кц}$) $+4^{\circ}\text{C}$; результаты опытов сведите в таблицу 1.1;

Таблица 1.1 – Результаты опытов

Продолжительность охлаждения, τ , мин./ Температура, t , $^{\circ}\text{C}$	15 мин.	30 мин.	45 мин.
Поверхности картофеля			
Центра картофеля			
Поверхности моркови			
Центра моркови			

4. Определите количество теплоты, отводимой от охлажденного продукта

$$Q = G c_0 (t_n - t_k), \quad (1.1)$$

где G – масса продукта, кг;

c_0 – удельная теплоемкость охлажденного продукта, кДж/ (кг К);

t_n , t_k – соответственно среднеобъемная начальная, и конечная температура продукта, $^{\circ}\text{C}$;

Рассчитайте продолжительность режима охлаждения продукта (до момента достижения на поверхности продукта криоскопической температуры):

$$\tau_1 = \frac{F_0 \cdot R^2}{a}, \quad (1.2)$$

где F_0 – критерий Фурье, найденный по номограмме для полученных расчетом числа Био (Bi) и безразмерной температуры на поверхности продукта (θ_n);

R – половина характерного размера продукта, м;

a – коэффициент температуропроводности продукта, $\text{м}^2/\text{с}$;

5. Определите температуропроводность продукта:

$$a_{\text{охл}} = \frac{\lambda_{\text{охл}}}{c_{\text{охл}} \cdot \rho}, [\text{м}^2/\text{с}, \text{м}^2/\text{ч}] \quad (1.3)$$

где $\lambda_{\text{охл}}$ – коэффициент теплопроводности продукта, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$;

$c_{\text{охл}}$ – теплоемкость продукта, $\text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{К}$;

ρ – плотность продукта, $\text{кг}/\text{м}^3$

Значения λ , C и ρ выбираются из таблицы. Значения берутся как средние арифметические и выше $t_{\text{кр}}$ (т.к. происходит процесс охлаждения).

6. Рассчитывают критерий Био:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda_{\text{охл}}}, \quad (1.4)$$

где α – коэффициент теплоотдачи между продуктами и охлаждающей средой, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$, $\alpha = 210 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$ (для охлаждающей среды – воздух, для приближенных расчетов);

l – половина величины характерного размера (толщины, диаметра) продукта, м;

7. Рассчитывается критерий Фурье:

По номограмме находят значение величины безразмерной температуры (θ_n) в центре продукта с учетом конкретной физической модели (шара, цилиндра или пластины) и найденных критериев Bi и F_0 .

$$\Theta_n = \frac{t_{\text{кр}} - t_s}{t_n - t_s}, \quad (1.5)$$

где $t_{\text{кр}}$ – криоскопическая температура, $^\circ\text{C}$;

t_s – температура охлаждающей среды, $^\circ\text{C}$;

t_n – начальная температура, $^\circ\text{C}$;

8. Построить полученные температурные графики, проведите сравнение с аналитическими расчетами, сделайте выводы.

Содержание отчета: аналитические расчеты; схема экспериментального стенда; описание лабораторной работы; термограммы, выполненные в масштабе; анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований.

Лабораторная работа № 2

Изучение работы поршневого компрессора

Цель работы. Исследование характеристик одноступенчатого поршневого компрессора, анализ термодинамических процессов, происходящих при сжатии рабочего вещества (воздуха).

Описание экспериментальной установки

Для проведения опытов используется вертикальный одноцилиндровый поршневой компрессор. Схема экспериментальной установки представлена на (рис. 2.1.). Сжатие воздуха происходит в цилиндре 8 при возвратно–поступательном движении поршня 7, которое обеспечивается механической передачей, включающей кривошипно–шатунный механизм 6, связанный приводом с электродвигателем 5. Всасывание и нагнетание воздуха производится через впускной и нагнетательный клапаны соответственно 9 и 10, расположенные на крышке цилиндра.

Сжатый в компрессоре воздух подается в резервуар 11. Давление воздуха контролируется манометром 12, а его температура определяется по величине термо ЭДС термопары 16, измерителем температуры 17. Производительность компрессора определяется по показанию ротаметра 13 – градуированной трубки, внутри которой находится поплавков 14. Сжатый воздух из резервуара выпускается через регулирующий вентиль 15 и ротаметр 13. Для определения мощности, потребляемой электродвигателем

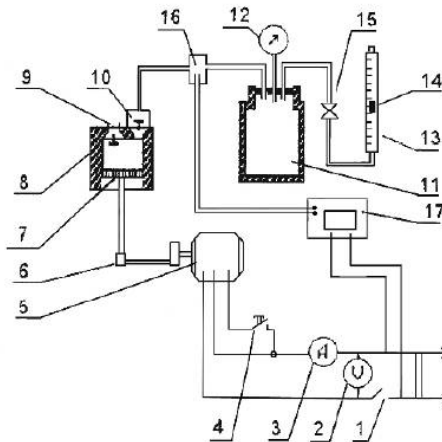


Рис. 2.1. Схема лабораторной установки.

1 – сетевой выключатель; 2 – вольтметр; 3 – амперметр; 4 – пусковая кнопка; 5 – электродвигатель; 6 – кривошипно–шатунный механизм; 7 – поршень; 8 – цилиндр компрессора; 9 – впускной клапан; 10 – нагнетательный клапан; 11 – резервуар; 12 – манометр; 13 – ротаметр; 14 – поплавков ротаметра; 15 – регулирующий вентиль; 16 – термопара; 17 – измеритель температуры.

5, приводящим в действие компрессор, в цепь питания включены амперметр 3 и вольтметр 2. Сетевой выключатель 1 и пусковая кнопка 4 предназначены для запуска компрессора в работу. Включение измерителя в сеть производится через отдельный источник питания.

Методика проведения опыта

Перед началом опыта необходимо снять показания по лабораторным приборам: температуру окружающей среды, атмосферное давление воздуха.

1. Открыть полностью вентиль 15 на 1–2 минуты для выпуска возможно оставшегося в резервуаре сжатого воздуха, закрыть вентиль.

2. Запустить компрессор в работу, включив сетевой выключатель 1 и нажав пусковую кнопку 4.

3. Обеспечить повышение избыточного давления воздуха в резервуаре до 60 – 80 кПа (0,6 – 0,8 кгс/см²).

4. Постепенным открытием вентиля 15 установить расход сжатого воздуха, ориентируясь на положение поплавка в пределах 20–30 делений шкалы ротаметра.

5. Включить измеритель температуры.

6. По истечении 20–25 минут работы компрессора определить температуру сжатого воздуха, используя значения измерителя температуры 17, измерить потребляемый электродвигателем ток, напряжение в сети и избыточное давление в резервуаре.

7. После проведения эксперимента отключить электродвигатель выключателем 1 и открыть вентиль 15 для выпуска сжатого воздуха в атмосферу.

8. С интервалом 10–15 минут провести два опыта в последовательности по пп. 2–7 при большей производительности компрессора, определяемые расходом воздуха в диапазоне 50–60 и 70–80 делений шкалы ротаметра.

Обработка полученных данных и оформление отчета

1. Мощность, потребляемая электродвигателем компрессора:

$$N_g = U \cdot I, \text{ Вт.} \quad (2.1)$$

2. Давление на выходе из компрессора определяется по формуле:

$$p_2 = 9,81 \cdot 10^4 \cdot \frac{P_m}{P_{\max}} + p_1, \text{ Па} \quad (2.2)$$

где P_m – показание манометра, кг/см²;

P_{\max} – максимум шкалы манометра, в делениях.

P_1 – барометрическое давление, Па, измеряемое по лабораторному барометру.

3. Степень повышения давления:

$$\beta = \frac{p_2}{p_1} \quad (2.3)$$

4. Определяется повышение температуры воздуха при сжатии, °С:

$$\Delta t = t_2 - t_1, \quad (2.4)$$

где t_1 – температура воздуха в помещении;

t_2 – температура сжатого воздуха в ресивере.

5. Теоретическая работа компрессора при адиабатном сжатии 1 кг воздуха:

$$L_k = c_p \cdot \Delta t, \text{ Дж/кг}, \quad (2.5)$$

где $c_p = 1004$ – изобарная теплоемкость воздуха, Дж/(кг °С)

6. Производительность компрессора определяется по формуле:

$$M_k = 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot H_p, \text{ кг/с}, \quad (2.6)$$

где H_p – величина подъёма поплавка ротаметра, дел.

7. Теоретическая мощность адиабатного компрессора определяется по формуле, Вт:

$$N_k = L_k \cdot M_k, \quad (2.7)$$

8. Эффективный кпд компрессора, % :

$$\eta_e = \frac{N_k}{N_s \cdot \eta_m \cdot \eta_s} \cdot 100, \quad (2.8)$$

где $\eta_m = 0,82$ – механический кпд компрессора,

$\eta_s = 0,84$ – кпд электродвигателя компрессора.

9. Через степень повышения давления β определить теоретическую работу компрессора, Дж/кг:

$$L_k'' = \frac{k \cdot R(t_1 + 273)}{k - 1} \cdot \left(\beta^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right), \quad (2.9)$$

где t_1 – температура воздуха на входе в компрессор, °С (для воздуха показатель адиабаты $K = 1,4$, газовая постоянная $R = 286$ кДж/кг·К).

10. Экспериментальная ошибка определения работы, затрачиваемой на привод компрессора, рассчитывается по зависимости, %:

$$\sigma = \frac{L_k - L_k''}{L_k''} \cdot 100 \quad (2.10)$$

№ п/п	Параметры	Обозначение	Размерность	Величина		
				1	2	3
1.	Температура окружающего воздуха	t_1	°C			
2.	Барометрическое давление воздуха	P_1	Па			
3.	Давление сжатого воздуха	P_2	Па			
4.	Степень повышения давления	β	—			
5.	Показания ротаметра	H_p	дел.			
6.	Производительность	M_k	кг/с			
7.	Сила тока	I	А			
8.	Напряжение в сети	U	В			
9.	Мощность привода	N	Вт			
11.	Повышение температуры воздуха при сжатии	Δt	°C			
12.	Теоретическая работа компрессора	l_k	Дж/кг			
13.	Теоретическая мощность компрессора	N_k	Вт			
14.	Эффективный КПД компрессора	η_e	%			
15.	Экспериментальная ошибка	σ	%			

Контрольные вопросы.

1. Методика проведения лабораторной работы.
2. Маркировка поршневых компрессоров и их модификации.
3. Какие параметры характеризуют эффективность работы компрессора?

Лабораторная работа № 3

Изучение работы автономного кондиционера

Цель работы. Изучить устройство автономного кондиционера БК–1500, определить его производительность по воздуху и холодопроизводительность.

Описание экспериментальной установки.

На рис. 3.1 приведено устройство кондиционера БК–1500. Внутренняя перегородка 7 делит кондиционер на два отсека. В наружном отсеке размещается герметичный компрессор 12, воздушный конденсатор 13, рабочее колесо осевого вентилятора 1. Во внутреннем отсеке размещается испаритель 5, рабочее колесо центробежного вентилятора 4, панель управления 8. Все конструктивные элементы кондиционера заключены в общем кожухе 14.

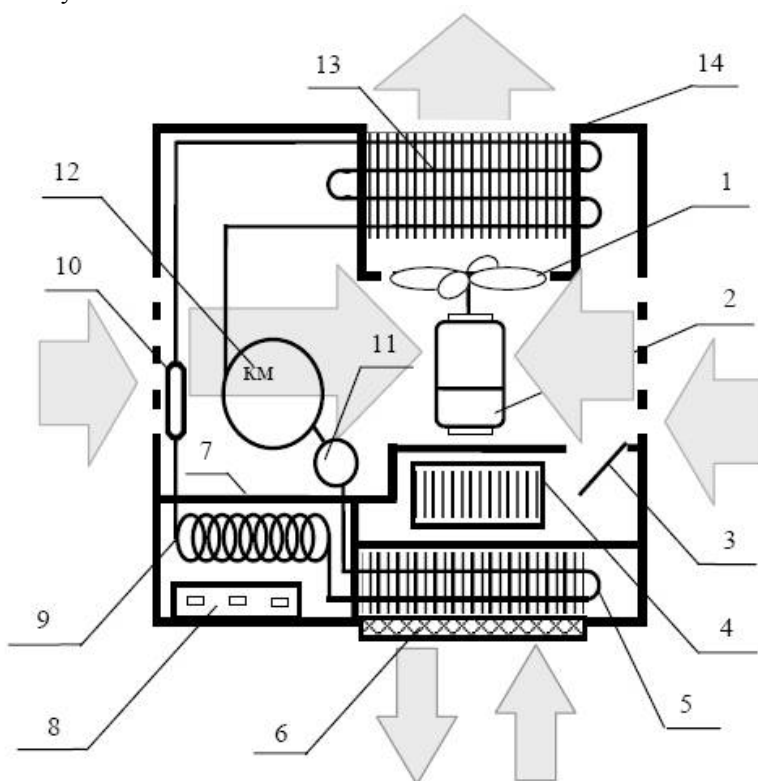


Рис. 3.1. Принципиальная схема кондиционера марки БК–1500:

1 – вентилятор осевой; 2 – электродвигатель вентилятора; 3 – заслонка; 4 – вентилятор центробежный; 5 – испаритель; 6 – фильтр воздушный; 7 – перегородка; 8 – пульт управления; 9 – капиллярная трубка; 10 – фильтр–

осушитель; 11 – расширитель; 12 – компрессор ротационный; 13 – конденсатор; 14 – кожух кондиционера

Кондиционер устанавливают в оконном проеме таким образом, что наружный отсек сообщается с атмосферным (наружным) воздухом, а внутренний отсек – с обслуживаемым помещением. Наружный воздух обдувает конденсатор 13, а воздух помещения охлаждается в испарителе–воздухоохладителе 5. Необходимой принадлежностью данной лабораторной установки является психрометр.

Методика проведения опыта

1. Перед началом опыта необходимо демонтировать лицевую панель и верхнюю крышку корпуса.

2. Включается кондиционер и электрокалорифер, установленный за кондиционером.

3. Через 10 минут после включения измеряется температура воздуха по сухому и мокрому термометру на входе и выходе кондиционера.

4. С помощью анемометра определяют скорость движения воздуха, выходящего из кондиционера.

5. Определяют с помощью сборника массу выпавшего конденсата. Фиксируют продолжительность опыта.

4. По окончании изучения лицевую панель и верхнюю крышку кожуха монтируют на место.

5. Результаты замеров заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты измерения опытных величин

№ п.п	Температура воздуха на входе в кондиционер	Температура воздуха на выходе из кондиционера	Скорость воздуха	Продолжительность опыта	Количество сконденсировавшейся влаги
	$t_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$	$V_{\text{вых}}, \text{ м/с}$	$t, \text{ с}$	$W, \text{ кг}$

Обработка полученных данных и оформление отчета

1. Составить принципиальную схему кондиционера БК–1500.

2. Определить производительность кондиционера по воздуху, кг/с:

$$G = V_{cp} \cdot a \cdot b \cdot \rho_s \quad (3.1)$$

где V_{cp} – скорость движения воздуха, выходящего из конденсатора, м/с;

a, b – размеры выходного патрубка кондиционера, м;

ρ_v – плотность воздуха, кг/м³.

3. По i, d -диаграмме определить энтальпию и влагосодержание воздуха до и после кондиционера и построить процесс обработки воздуха.

4. Вычислить холодопроизводительность кондиционера, Вт:

$$Q = G \cdot (i_1 - i_2), \quad (3.2)$$

где i_1, i_2 – энтальпии воздуха до и после кондиционера, кДж/кг.

5. Определить осушающую способность кондиционера:

$$W = G \cdot (d_1 - d_2) \cdot 10^{-3} \quad (3.3)$$

где d_1, d_2 – влагосодержание воздуха до и после кондиционера, г/кг.

6. Определить осушающую способность кондиционера по массе выпавшего конденсата:

$$W' = \frac{G}{t} \quad (3.4)$$

7. Сравнить значения W и W' и определить расхождение (в %).

Контрольные вопросы.

1. Методика проведения лабораторной работы.

2. В чем состоят преимущества и недостатки автономных кондиционеров?

3. Как осуществляется подача свежего воздуха в автономных кондиционерах?

4. Как регулируется относительная влажность воздуха в автономных кондиционерах?

5. Как обеспечивается снижение шума в автономных кондиционерах?

Лабораторная работа № 4

Испытания малых холодильных установок (бытовых холодильников)

Цель работы: ознакомление с устройством домашних холодильников и с методикой испытания.

Оборудование, приборы, материалы: среднетемпературный холодильный шкаф, электросчетчик, датчики температуры.

Ход работы:

1. Ознакомиться с правилами техники безопасности, рабочей схемой испытания, устройством среднетемпературного холодильного шкафа, методиками проведения и обработки результатов испытания.

2. Установить переключатель термореле в заданное положение. В моменты включения и выключения компрессора произвести измерения температур воздуха внутри шкафа и в непосредственной близости от него, по счетчику определить расход электроэнергии, потребляемой компрессором за время одного цикла. Потребляемую мощность определить в момент включения компрессора и за 10 – 20 с до его выключения. Зафиксировать время включения и выключения компрессора. Данные занести в журнал.

3. Установить термореле в другое положение, повторить наблюдения и произвести записи данных измерения в журнал наблюдений.

4. По окончании испытания определить для каждого режима: среднюю температуру воздуха в шкафу, среднюю условную холодопроизводительность, средний коэффициент рабочего времени, часовой расход электроэнергии, потребляемым компрессором, удельную эффективную холодопроизводительность.

Таблица 2 – Журнал наблюдений

№ цикла	Время замера		Время			Температура воздуха в шкафу			Температура окружающего воздуха		Потребляемая мощность N, Вт	Показания счетчика, W1? W2, Вт*ч	Расход электроэнергии за цикл, Wц = W2 – W1, Вт*ч
	Вкл. T1	Выкл. T2	Работы Траб	стоянки Тнр	Цикла Тц	Наверху Tk1, Tk2	Посередине, Tk3	В нижней части T k4	Вверху, Tв	Сбоку, Tб			
	мин., с												
Средние значения за режим													

Средний коэффициент рабочего времени:

$$b_{cp} = \frac{\sum \tau_{раб}}{\sum \tau_{ц}}, \quad (4.1)$$

где $\sum \tau_{раб}$ – суммарное время работы холодильной машины в течении испытания одного режима, ч.;

$\sum \tau_{ц}$ – суммарное время циклов одного режима (время одного режима), ч.

Холодопроизводительность компрессора при заданной величине теплопроводимости kF , ккал/ч:

$$Q_0 = kF(t_n - t_{к.ср.}) \quad (4.2)$$

Средняя условная холодопроизводительность, ккал/ч:

$$Q_{0yc} = \frac{Q_0}{b_{cp}} \quad (4.3)$$

Средний часовой расход электроэнергии, потребляемой компрессором по измеряемой мощности, Втч:

$$W_{cp} = N_{cp} \cdot b_{cp}, \quad (4.4)$$

где N_{cp} – средняя мощность, потребляемая компрессором в течении заданного режима, Вт.;

Средний действительный холодильный коэффициент:

$$\varepsilon_\partial = \frac{Q_0}{0,86W_{cp}}, \quad (4.5)$$

Удельная эффективная холодопроизводительность, ккал/(кВт·ч):

$$K = 860 \cdot \varepsilon_\partial \quad (4.6)$$

Содержание отчета: журнал наблюдений, техническая характеристика холодильника, аналитические расчеты; схема экспериментального стенда, описание лабораторной работы; обработка результатов испытаний, анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований.

Лабораторная работа № 5

Испытание льдогенератора «Convito» КТ–15–003»

Цель работы:

Изучение устройства и принципа действия льдогенератора, усвоение правил его обслуживания и безопасной эксплуатации.

Определение фактической производительности льдогенератора и расчетной тепловой нагрузки на холодильную установку.

Оборудование, приборы, материалы: льдогенератора «Convito» КТ–15–003», датчики температуры.

Ход работы:

1. Ознакомиться с правилами техники безопасности, рабочей схемой испытания, устройством льдогенератора, методикой проведения и обработки результатов испытания.

2. Снимите верхнюю крышку и произведите размеры подвижной ванны: длину l , м, ширину b , м, высоту h , м. Подсчитайте количество цапф испарителя n , шт их диаметр d , м. Внесите эти данные в табл. 3.

3. При заполнении подвижной ванны водой измерьте линейкой высоту её слоя $h_в$, м и глубину погружения цапф в воду $h_ц$, м. Внесите эти данные в табл. 5.1. Закройте крышку льдогенератора. Все последующие измерения проводите через два цикла работы льдогенератора. Секундомером замерьте время отдельных операций цикла работы льдогенератора и занесите данные в табл. 5.2.

Таблица 5.1. Протокол измерений

Длина ванны l , м	
Ширина ванны b , м	
Высота ванны h , м	
Количество цапф n	
Диаметр цапфы $d_ц$, м	
Высота слоя воды $h_в$, м	
Глубина погружения цапфы в воду $h_ц$, м	

Таблица 5.2. Протокол испытаний

Время, с: заполнения резервуара τ_p	
подъема ванны τ_n	
заполнения ванны $\tau_в$	
намораживания гранул $\tau_н$	
опускания ванны $\tau_о$	
оттаивания гранул $\tau_{от}$	
полного цикла T	

4. Откройте крышку льдогенератора и штангенциркулем измерьте наружный диаметр гранулы льда d_r , м. Закройте крышку. Все гранулы льда, получаемые за цикл, поместите в поддон и определите их массу $G_э$, кг. В течение цикла определите по потенциометру температуру на поверхностях теплообменных аппаратов холодильного агрегата, начальную температуру воды $t_в$, °С и конечную среднюю температуру гранулы льда $t_э$, °С. Замеры производите в течение 2...3 циклов. Результаты внесите в табл. 5.3. Выключите льдогенератор.

Таблица 5.3 Протокол испытаний

Наружный диаметр гранулы льда	d_r , м	
Температура, °С: испарения фреона	t_0	
перед всасывающим вентилем	t_1	
после компрессора	t_2	
конденсации	t_k	
перед терморегулирующим вентилем	t_3	
нагрева испарителя при оттаивании гранул льда	t_{om}	
воды начальная	t_6	
гранулы средняя	t_c	
Масса гранул льда, получаемых за цикл	G_c , кг	

Расчетная часть

Средняя масса гранул льда, получаемых за один цикл, G_c , кг

$$G_c = \frac{G_{c_1} + G_{c_2} + G_{c_3}}{3}, \quad (5.1)$$

где $G_{c_1}, G_{c_2}, G_{c_3}$ – массы гранул льда, получаемых за циклы, кг.

Фактическая производительность льдогенератора Π (кг/ч)

$$\Pi = \frac{3600G_c}{T}. \quad (5.2)$$

Масса воды m_6 , кг, находящейся в ванне льдогенератора для замораживания

$$m_6 = \rho \left(lbh_6 - \frac{n\pi d_u^2 h_u}{4} \right), \quad (5.3)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³ ($\rho = 1000$ кг/м³);

l – длина ванны, м;

b – ширина ванны, м;

h_6 – высота слоя воды, м;

n – количество цапф;

d_u – диаметр цапфы, м;

h_u – глубина погружения цапфы в воду, м.

Тепловая нагрузка Q , кВт на холодильную установку льдогенератора

$$Q = Q_\delta + Q_m + Q_0, \quad (5.4)$$

где Q_δ – теплопритоки от воды при её охлаждении, замораживании и

охлаждении гранул льда до конечной температуры, кВт;

Q_m – теплопритоки от металлоконструкций, отепляемых при оттаивании льда и охлаждаемых при замораживании, кВт;

Q_0 – теплопритоки от окружающей среды через ограждающие конструкции льдогенератора, кВт.

Теплопритоки от воды Q_e , кВт

$$Q_e = \frac{c_e m_e t_e + G_c (r - c_l t_e)}{\tau}, \quad (5.5)$$

где c_e – удельная теплоёмкость воды, кДж/(кг·К) ($c_e = 4,186$ кДж/(кг·К));

r – удельная теплота фазового перехода, кДж/кг ($r = 335,2$ кДж/кг);

c_l – удельная теплоёмкость льда, кДж/(кг·К) ($c_l = 2,1$ кДж/(кг·К));

t_e – средняя температура гранулы льда, °С.

Масса льда G_l , кг, получаемого за цикл работы льдогенератора

$$G_l = G_c (1 + y), \quad (5.6)$$

где y – массовая доля льда, подтаявшего при освобождении цапф.

$$y = \frac{(d + 2\delta)^2 - d^2}{d_e^2 - d^2}, \quad (5.7)$$

где δ – толщина подтаявшего слоя льда, м, $\delta = 1 \cdot 10^{-3}$ м; d_e – наружный диаметр гранул льда, м.

Теплопритоки от металлоконструкций Q_i , кВт

$$Q_m = \frac{G_m c_m (t_{om} - |t_0|)}{\tau_n}, \quad (5.8)$$

где G_m – масса металлоконструкций, отепляемых при оттаивании льда и охлаждаемых при замораживании, кг ($G_m = 0,3$ кг);

c_m – удельная теплоёмкость материала испарителя, кДж/(кг·К),

$c_m = 0,682$ кДж/(кг·К);

t_{om} – температура нагрева испарителя при оттаивании, °С.

Теплопритоки от окружающей среды Q_0 , кВт определите из соотношения:

$$Q_0 = 0,15 Q_e. \quad (5.9)$$

По известным значениям температур t_{κ} , t_3 , t_0 , t_1 постройте цикл работы холодильной установки на $lg p - i$ диаграмме. Определите теплосодержание (кДж/кг) холодильного агента в характерных точках i_1 , i_2 , i_3 , i_4 и рассчитайте основные параметры цикла.

Удельная холодильная мощность q_0 , кДж/кг

$$q_0 = i_1 - i_4. \quad (5.10)$$

Удельная работа компрессора A_0 , кДж/кг

$$A_0 = i_2 - i_1. \quad (5.11)$$

Удельная теплота конденсации q_k , Дж/кг

$$q_k = i_2 - i_3. \quad (5.12)$$

Холодильный коэффициент

$$\varepsilon = \frac{q_0}{A_0}. \quad (5.13)$$

Масса холодильного агента, циркулирующего в системе, G , кг/с

$$G = \frac{1,03Q}{q_0}. \quad (5.14)$$

Теоретическая мощность компрессора N_m , кВт

$$N_m = GA_0. \quad (5.15)$$

Расчетная мощность компрессора N_e , кВт

$$N_e = \frac{N_m}{\eta_i \eta_m}, \quad (5.16)$$

где η_i – индикаторный коэффициент ($\eta_i = 0,87$);

η_m – механический КПД ($\eta_m = 0,9$).

Сравните расчетную и фактическую мощности компрессора, в случае несовпадения сделайте выводы.

Содержание отчета: журнал наблюдений, техническая характеристика льдогенератора, аналитические расчеты; схема экспериментального стенда, описание лабораторной работы; обработка результатов испытаний, анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований.

РАЗДЕЛ ВЕНТИЛЯЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Правила по технике безопасности при работе на вентиляционных установках и стендах

Во избежание случаев травматизма при работе вентиляционных установок необходимо соблюдать следующие правила по технике безопасности.

1. Все вращающиеся части оборудования должны иметь ограждения.
2. Ограждения должны быть закреплены и заземлены во избежание накопления на них статического электричества.
3. Запрещается прикасаться к вращающимся частям оборудования.
4. Корпуса электродвигателей должны быть заземлены во избежание поражения током в случае повреждения изоляции обмоток электродвигателя.
5. Станины вентиляторов, фильтров циклонов, шлюзовых затворов и вентиляционные воздухопроводы должны быть заземлены для устранения опасного накопления статического электричества.
6. Запрещается во время работы установок находиться против быстровращающихся шкивов и приводных ремней, так как возможны аварийные разрывы шкивов и ремней в плоскости их вращения.
7. Конструкция заглушек отверстий в воздухопроводах в местах замеров должна не допускать попадания внутрь воздухопроводов металлических деталей (болтов или гаек), так как они могут вызвать повреждение лопастей рабочего колеса вентилятора, искру и пылевой взрыв.
8. При измерении давления в воздухопроводах, расположенных на высоте более 2 м от пола, необходимо пользоваться специальной стремянкой или длинной пневмометрической трубкой (стулья и столы для этого не использовать).
9. Студентам разрешается измерять частоту вращения вентилятора тахометром только при непосредственном участии лаборанта или преподавателя.
10. Регулировать и изменять частоту вращения вентилятора разрешается студентам только при непосредственном участии лаборанта или преподавателя, так как чрезмерное увеличение частоты вращения может привести к разрыву приводных шкивов, приводных ремней и рабочих колес.
11. Пуск установки с неисправным или незакрепленным ограждением запрещается.
12. Пуск вентиляционной установки разрешается только в присутствии и по разрешению лаборанта или преподавателя,
13. Перед пуском вентилятора проверяют исправность ограждений, заземлений и отсутствие на ограждениях посторонних предметов.
14. При выполнении лабораторных работ по испытанию вентиляционных установок лаборант до начала работы на рабочих местах должен

подготовить все приборы, необходимые для выполнения данной работы. На рабочем месте не должно быть посторонних предметов и лишних приборов.

15. Во время выполнения студентами лабораторных работ должны обязательно присутствовать лаборант и преподаватель.

16. Перед началом лабораторных работ преподаватель проводит общий инструктаж студентов, в котором объясняет основные правила и требования по технике безопасности при работе на вентиляционных установках. Студенты, не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

17. Ответственность за своевременную подготовку к работе и исправность вентиляционных установок возлагается на лаборанта и заведующего лабораторией.

18. Выполнение лабораторных работ на неисправном оборудовании или с нарушениями правил техники безопасности запрещается.

19. В случае травмы пострадавшему немедленно оказывают первую медицинскую помощь на месте с последующим обращением в поликлинику.

20. Ответственность за наличие аптечки в лаборатории возлагается на заведующего лабораторией и лаборанта.

21. По окончании работы студент обязан показать результаты замеров преподавателю, привести в порядок рабочее место и только с разрешения преподавателя или лаборанта выключить установку.

Одновременно в лаборатории могут выполнять работу не более 12 студентов.

С правилами по технике безопасности ознакомлен

студент группы ____ Фамилия И.О.____ Подпись, дата _____

Математическая обработка результатов измерений

Для определения искомой величины A производят несколько равнооточных измерений a_1, a_2, \dots, a_n .

Искомую величину A определяют как среднее арифметическое из результатов измерения, т. е.

$$A = \frac{(a_1 + a_2 + \dots + a_n)}{n} \quad (1)$$

где n – число измерений принимаемое не менее трех.

При вычислении A придерживаются следующего правила: деление суммы результатов отдельных измерений $a_1 + a_2 + \dots + a_n$ на число этих измерений n продолжают до тех пор, пока частное не будет иметь на одну цифру больше, чем имеется их в цифрах a_1, a_2, \dots, a_n . Затем в полученном частном отбрасывают последнюю цифру по правилу округления.

Погрешность измерений определяют следующим образом. Вычисляют вероятность ошибки каждого измерения по формуле:

$$V_1 = A - a_1; V_2 = A - a_2; \dots; V_n = A - a_n. \quad (2)$$

Затем вычисляют среднюю квадратичную ошибку измерения, которая характеризует погрешность измерения:

$$m = \pm \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2}{n - 1}} \quad (3)$$

Например, при $A = 100$, $m = \pm 10$ результаты опытов измерения колебались от 90 до 110.

Чем меньше m , тем точнее измерения.

Среднюю квадратичную ошибку арифметической середины которая указывает, на сколько велика ошибка, если принять арифметическую середину за истинную величину, вычисляют по формуле:

$$M = \pm \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2}{n(n - 1)}} = \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Например, при $A = 100$, $M = \pm 5$ искомая величина $x = A \pm M = 100 \pm 5$ находится в пределах от 95 до 105.

Качество результатов измерений оценивают относительной ошибкой

$$E = \frac{\Delta A}{A} \times 100 \% \quad (5)$$

где ΔA — абсолютная ошибка, которую определяют при прямых вычислениях по формуле $\Delta A = 3M$.

Например, при $M = \pm 5$, $A = 100$; $\Delta A = 15$, $E = \pm 15/100 \cdot 100 = \pm 15\%$.

Процент расхождения между двумя любыми значениями чисел A и B при $A > B$ рассчитывают по формуле

$$x = \left(\frac{A}{B} - 1 \right) \times 100 \% \quad (6)$$

Измерение давлений в воздухопроводах

Цель работы. Научиться измерять давления в воздухопроводах контрольно–измерительными приборами при исследовании и испытании вентиляционных установок.

Необходимые приборы и принадлежности. Барометр, *пневмометрическая* трубка, микроманометр, шланги, металлическая линейка, шнур.

Порядок выполнения работы и ее оформление

1. Осмотреть вентиляционную установку и найти измеряемое сечение по схеме, приведенной на рисунке 1.1

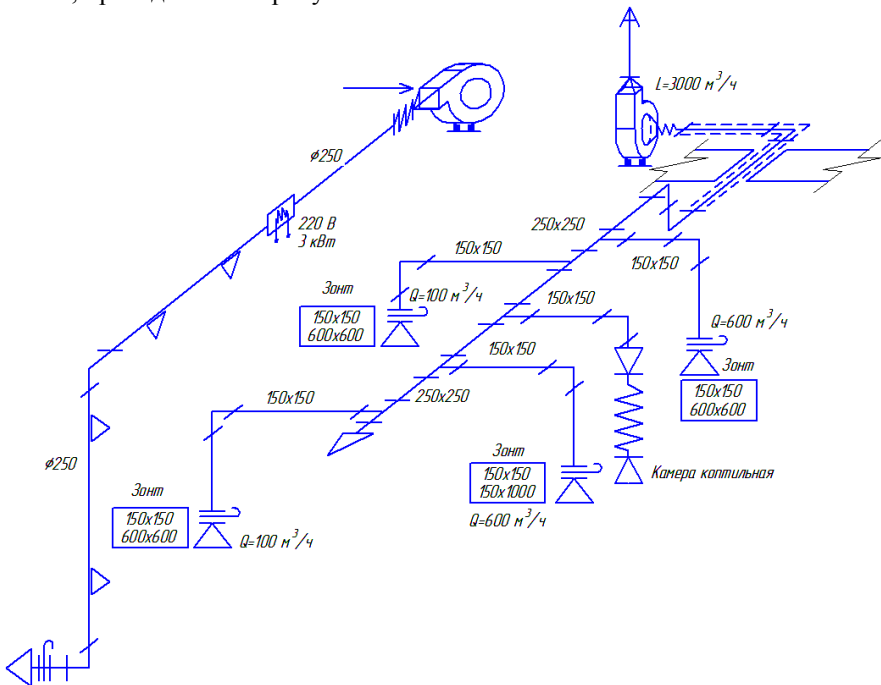


Рис. 1.1 Схема приточно–вытяжной вентиляции

2. Замерить металлической линейкой, рулеткой или шнуром (по длине окружности) диаметр воздухопровода в измеряемом сечении.

3. Установить микроманометр по уровню, отрегулировать уровень жидкости в трубке микроманометра на нуль.

4. Надеть *резиновые* шланги на штуцеры микроманометра и пневмометрической трубки для замера общего, статического и динамического давлений.

5. Проверить герметичность соединений и микроманометра.

6. На пневмометрической трубке нанести риски. Первую – на расстоянии $D/2$ от линии центра пневмометрической трубки общего давления. Вторую – на расстоянии $D/4$ от первой риски, где D – диаметр воздухопровода.

7. Открыть отверстие в воздухопроводе и вставить пневмометрическую трубку для замера давлений.

Избыточные давления измеряют по схеме, приведенной на рисунке 1.2.

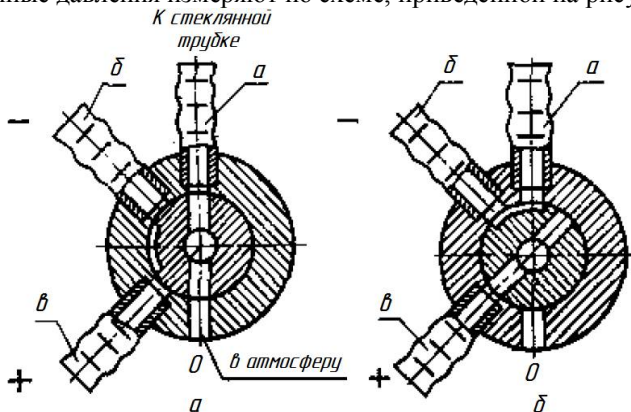


Рис.1.2. Схема трехходового крана:

a – при установке мениска на нуль; b – при измерении давления.

Повторяют три раза замеры давлений в указанных трех точках, записывают значения l по показаниям шкалы микроманометра, находят средние значения величин l (в мм). Рассчитывают избыточные давления $\pm H$ по формуле, в которую подставляют среднее значение l из трех измерений. Средние значения величин избыточных давлений $\pm H$ записывают в табл. 1.

$$H = l \cdot K \cdot g \cdot h, \quad (1.1)$$

где $K = \rho_{ж} \sin \alpha$ – фактор микроманометра;

$\Delta = \rho_{ст} / \rho$ – поправочный коэффициент на приведение результатов замера к стандартным условиям;

$\rho_{ст} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – плотность стандартного воздуха;

ρ – плотность воздуха при параметрах измерения,

Коэффициент Δ можно определить по следующей зависимости:

$$\Delta = 345T/P \quad (1.2)$$

где $T = 273 + t$ °C — температура воздуха при измерениях, °C;

P – давление воздуха при измерениях, Па.

Динамическое давление H_d замеряют по схеме, приведенной на рисунке 1.3, или определяют как разность между общим и статическим давлениями по формуле.

$$H_d = H_0 - (\pm H_{ст}) \quad (1.3)$$

Избыточное статическое давление по отверстию в стенке (графа 24) замеряют без пневмометрической трубки соединением микроманометра со штуцером воздухопровода.

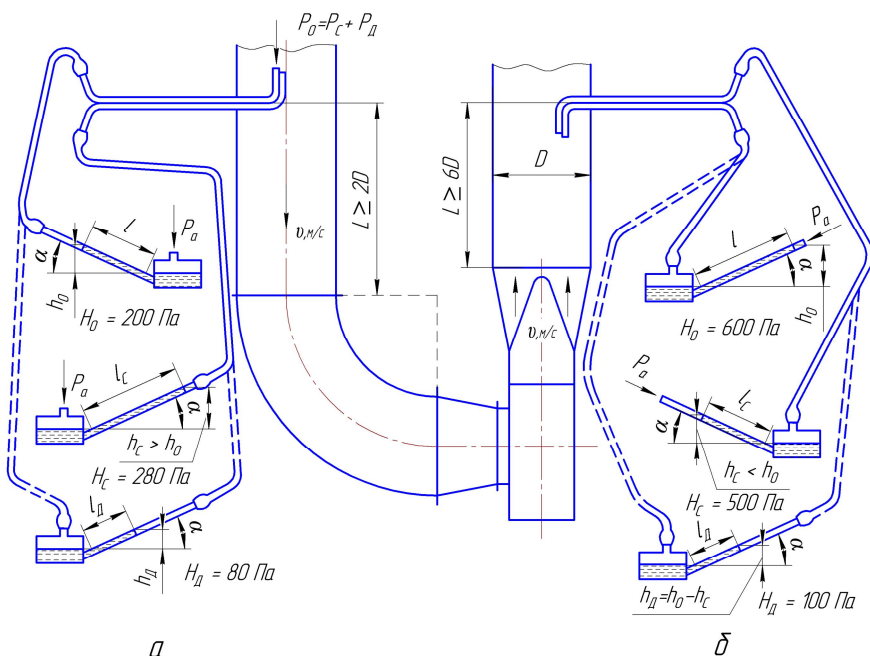


Рис. 1.1 Схема для замера давлений

Статическое давление по отверстию в стенке $\pm P_{\text{ст}}$ (графа 25) определяют по атмосферному давлению в помещении P_a и избыточному статическому давлению в воздухопроводе $\pm H_{\text{ст}}$:

$$P_{\text{ст}} = P_a \pm H_{\text{ст}}.$$

Давление в помещении находят по барометру в Па или в мм рт. ст. и пересчитывают в Па.

Средние значения измеряемых величин определяют по формуле (1), среднюю квадратичную ошибку измерения – по формулам (3) и (4).

Перед средними значениями избыточных давлений $H_{\text{ст}}$ и H_0 в табл. 1.1 выставляют знаки «плюс» или «минус» — в зависимости от того, к какому штуцеру микроманометра подсоединялось измеряемое давление. Если резиновая трубка от воздухопровода подсоединялась к штуцеру «плюс» чашки микроманометра, то избыточное давление H имеет знак «плюс». При подсоединении измеряемого давления к штуцеру «минус» трубки микроманометра избыточное давление H будет иметь знак «минус».

Анализ результатов измерений и выводы. По результатам замеров и расчетов, согласно данным табл. 1.1, нужно ответить письменно на следующие вопросы.

1. Как определить при замерах знаки величин $H_{\text{ст}}$ и H_0 ? Совпадают ли полученные при замерах знаки $H_{\text{ст}}$ и H_0 с теорией, т. е. с выводом из графика распределения давлений в вентиляционных воздухопроводах?

2. Какое из замеренных избыточных давлений $H_{ст}$ или H_o получилось больше? Совпадает ли это с выводом из графика распределения давлений?

3. В каких точках поперечного сечения воздухопровода получены при измерениях максимальные и минимальные значения избыточных давлений H_o и $H_{ст}$? Совпадает ли это с теорией?

4. В какой точке поперечного сечения воздухопровода получилось при замерах максимальное динамическое давление? Совпадает ли это с теорией?

5. Какое из абсолютных давлений больше, а воздухопроводе P_o или $P_{ст}$?

При расхождении результатов измерения с теорией необходимо выяснить причины расхождения. Например, если по теории максимальное динамическое давление в центре воздухопровода, а по замерам получилось в промежуточной точке или у стенки воздухопровода, то причина расхождения с теорией состоит в искажении воздушного потока, например наличием фасонной части (отвода, аспирационного носка и т. п.) вблизи сечения, где производились измерения.

Если измеряемое сечение близко расположено от входного отверстия вентилятора, то максимальное динамическое давление получается не в центре потока а в промежуточной точке в результате торможения ядра воздушного потока о торец вала и ступицы (втулки) вентилятора.

Наличие отвода вблизи измеряемого сечения смещает ядро воздушного потока центробежными силами от центра к стенке воздухопровода.

Аспирационный носок вызывает смещение ядра воздушного потока в сечении из центра к дальней стенке воздухопровода, противоположной от бокового входа воздуха в аспирационный носок.

Поэтому давления рекомендуется измерять без искажений потоков в сечениях, расположенных на расстоянии не менее $3D$ от фасонной части.

Вопросы для самоконтроля к лабораторной работе №1

1. Какими приборами измеряют избыточные давления в вентиляционных воздухопроводах?

2. Какие типы микроманометров применяют для более точных измерений избыточных давлений в воздухопроводах?

3. Какое минимальное и максимальное избыточное давление позволяет измерять микроманометр ММН с длиной шкалы $l = 300$ мм с коэффициентами $K=0,2$ и $K=0,8$?

4. Какие виды давлений измеряют пневмометрической трубкой и микроманометром?

5. От чего зависит точность измерения давлений чашечного микроманометра?

6. Почему повышается точность измерения давлений с уменьшением угла наклона трубки чашечного микроманометра с наклонной шкалой?

7. Какую жидкость применяют для измерения малых давлений в вентиляционных воздухопроводах?

8. К какому штуцеру микроманометра ЛШН подсоединяют резиновую трубку от общего давления пневмометрической трубки, установленной во всасывающем воздухопроводе?

9. На какой коэффициент K микроманометра устанавливают поворотную шкалу при измерении неизвестного давления?

Лабораторная работа № 2.

Измерение скоростей и расходов воздуха в воздухопроводах

Цель работы. Научиться *измерять скорости* и расходы воздуха в воздухопроводах при испытании и исследовании вентиляционных установок. Подтвердить справедливость уравнения неразрывности воздушного потока. Научиться определять среднюю скорость воздуха в воздухопроводах исследованием поля скоростей.

Необходимые приборы и инструменты. Пневмометрическая трубка, микроманометр, шланги, шнур, линейка, анемометр.

Порядок выполнения работы

1. Осмотреть вентиляционную установку и найти заданные два сечения воздухопроводов по схеме, приведенной на рисунке 1.1.

2. Составить формы таблиц 2.1 и 2.2.

3. Замерить диаметры воздухопроводов в двух последовательных сечениях и нанести их величины на схему и в таблицы 2.1 и 2.2.

4. Определить площади поперечных сечений воздухопроводов.

5. По замеренным диаметрам воздухопроводов найти расстояния шести точек замеров от стенки воздухопровода и записывают эти расстояния в таблицу. На пневмометрической трубке откладывают величину расстояния каждой точки, наносят риски или устанавливают резиновые кольца.

Точки замера давлений принимают в центре колец равновеликой площади, на которые разбивают сечение воздухопровода. Количество колец принимают не менее трех при диаметрах до 200 мм.

Схемы размещения точек измерения динамических давлений и скоростей внутри воздухопровода приведены на рисунке 1.1.

Расстояния (в мм) точек замера от центра круглого воздухопровода находят по следующей формуле:

$$r = R \sqrt{\frac{2n-1}{2m}} \quad (2.1)$$

где R — радиус воздухопровода, мм; n — номер точки замера от центра воздухопровода; m — число колец, на которые разбивают воздухопровод (по ГОСТ 17,2.4.01—80 при D до 200 мм принимают три кольца, при D 200...400 мм—четыре, при D 400...600 мм— пять, при D 600...800 мм — шесть колец).

Расстояния S точек замера от стенки воздухопровода (см. рис. 2.1), пересчитанные с учетом формулы (2.1).

По ГОСТ. 12.3.018–74 «Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний числа точек измерения принимают меньше. В круглых воздухопроводах при диаметре до 300 мм принимают четыре точки: по две точки по двум взаимно перпендикулярным направлениям (см. рис. 2.1, з). Расстояние этих точек от стенки воздухопровода принимают

Таблица 3. Рабочая таблица результатов измерения давлений в воздухопроводах
(к лабораторным работам № 2 и 4)

Номер точки замера	Избыточные давления									
	общее					статическое			динамическое	
	длина шкалы, l , мм	коэффици- циент K	$\pm H_0$, Па	длина шкалы, l , мм	коэффици- циент K	$\pm H_{ст}$, Па	длина шкалы, l , мм	коэффи- циент K	H_d , Па	
Расстояние C точки замера от стенки воздухопровода, мм										
Сечение 1-е										
Диаметр $D =$ _____ мм										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
Сечение 2-е										
Диаметр $D =$ _____ мм										
1										
2										
3										
4										
5										
6										

Работу выполнил студент группы _____ Фамилия, и. о. _____ Подпись _____ Дата _____

Работу проверил и принял преподаватель. Подпись _____

Таблица 4. Сводная таблица замеров и расчетов скоростей и расходов воздуха.

Сечение	Номер сечения по схеме	Диаметр воздуховода D , мм	Площадь сечения Воздуховода S , м ²	Среднее динамическое давление $H_{др}$, Па	Средняя скорость, v , м/с	Расход воздуха Q		Расхождени е расходов воздуха, %	Примечание
						м ³ /ч	м ³ /с		
1	2	3	4	5	6	8	7	9	10
1-ое									
2-ое									

Таблица 5. Сводная таблица результатов замеров и расчетов потерь давления в воздуховодах (к лабораторной работе № 3)

Сечение	Номер сечения по схеме	Диаметр воздуховода D , мм	Среднее динамическое давление $H_{др}$, Па	Средняя скорость $v_{ср}$, м/с	Длина прямых воздуховодов l , м	Общие потери давления между сечениями $H_{пт}$, Па	Потери на местных сопротивлениях $H_{м.с.}$, Па	Потери в прямых воздуховодах $H_{пр}$, Па	Величина R , Па/м				Расхождение, %
									по замерам	по номограмме	по замерам	по номограмме	
1-е													
2													

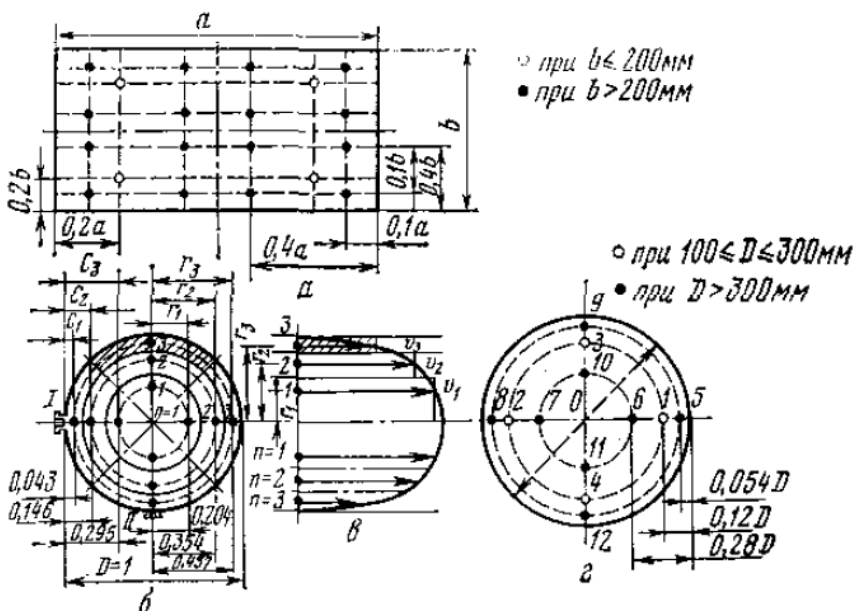


Рис. 2.1. Схемы размещения точек замеров в воздухопроводе: а – прямоугольный воздухопровод по ГОСТ 12.3.018–79; б – круглый воздухопровод по общепринятой методике; в – поле скоростей; г – круглые воздухопроводы по ГОСТ 12.3.018–79.

равным $C_f = 0,12D$. При диаметре воздухопровода больше 300 мм принимают восемь точек: по четыре точки по каждому направлению. Размещение точек замера по этому стандарту в прямоугольных воздухопроводах показано на рисунке 2.1, а.

Замеряют общие и динамические давления в каждой точке, руководствуясь рисунком 1.3, или замеряют общее и статическое давления, а динамическое находят по разности из формулы (1.3). Результаты измерений записывают в таблицу 2.1.

Среднюю скорость определяют по среднему динамическому давлению

$$v_{cp} = \sqrt{\frac{2H_{дcp}}{\rho}} = 1,29 \sqrt{H_{дcp}}, \quad (2.2)$$

где $H_{дcp}$ — среднее динамическое давление, Па.

Величину среднего динамического давления находят по формуле

$$H_{дcp} = \left(\frac{\sqrt{H_{д1}} + \sqrt{H_{д2}} + \dots + \sqrt{H_{дn}}}{n} \right)^2, \quad (2.3)$$

где $H_{д1}, H_{д2}, \dots, H_{дn}$ — динамические давления, замеренные в заданных точках поперечного сечения воздухопровода. Па; n — число точек замера (принимают при диаметре воздухопровода до 200 мм — шесть, при 200...400 мм — восемь, при 400...600 мм — 10, при 600...800 мм — 12 точек).

Для более точных замеров точки должны быть расположены по двум взаимно перпендикулярным плоскостям (см. рис. 2.1).

Среднюю скорость можно также определить по формуле

$$v_{cp} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n}, \quad (2.4)$$

где v_1, v_2, \dots, v_n — скорости воздуха в измеряемых точках (определяют по формуле (26), или по номограмме (см. рис. 44), или по приложениям 3, 4); n — число точек замера.

Расход воздуха (в м³/с) рассчитывают по формуле

$$Q = S v_{cp}, \quad (2.5)$$

где S — площадь поперечного сечения воздухопровода, м²; v_{cp} — средняя скорость, м/с — находят по формуле (2.2) или (2.4).

В дальнейшем в расчетах обозначают средние скорости без индекса — вместо v_{cp} обозначают v .

Если измерения проводились при параметрах воздуха, отличающихся от нормальных, следует пересчитать скорость и расход на нормальное состояние по формулам (38) и (39) [7]

Расхождение в расходах воздуха в двух последовательных сечениях рассчитывают по формуле (15) и записывают в графу 9 таблицы 2.2.

Анализ результатов измерений и выводы. После выполнения лабораторной работы № 2 необходимо ответить письменно на следующие вопросы.

1. Написать уравнение неразрывности воздушного потока для двух измеряемых сечений.
2. В каком из двух последовательных сечений должна быть по теории больше плотность воздуха?
3. Какое расхождение в расходах воздуха получилось при замерах в двух последовательных сечениях (в %) и чем оно объясняется?
4. Соблюдается ли уравнение неразрывности воздушного потока для данных сечений?

Записывают уравнение неразрывности воздушного потока, выражающее закон сохранения массы, для заданных двух сечений

$$\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2 = m = const, \quad (2.6)$$

где ρ_1 и ρ_2 — плотности воздуха в измеряемых сечениях, кг/м³, зависят от давлений и температуры воздуха; v_1 и v_2 — средние скорости воздуха в измеряемых сечениях, м/с; S_1 и S_2 — площади поперечных сечений воздухопроводов, м²; m — масса воздуха, кг/с.

На основании закона сохранения масс формулы (2.6) в идеальных условиях расходы в двух последовательных сечениях воздухопровода должны быть одинаковы.

Если по замерам получился расход воздуха во втором сечении больше, чем в первом при всасывающем воздухопроводе, то это можно объяснить двумя причинами: подсосами воздуха через неплотности во фланцевых соединениях и отверстиях для замеров, а также уменьшением плотности воздуха во втором сечении ρ_2 в результате уменьшения давления P_2 по сравнению с P_1 , в соответствии с графиком (см. рис. 7) и формулой (2) [7].

Уменьшение плотности ρ_2 вызывает увеличение скорости v_2 в соответствии с уравнением (2.6) при $S_1=S_2$. Это дает повышение расхода воздуха во втором сечении по формуле (2.5).

Вопросы для самоконтроля к лабораторной работе № 2

1. Какими способами и приборами можно определить скорость воздуха?
2. В каких случаях применяют анемометры для измерения скорости воздуха?
3. Какие бывают анемометры?
4. Каким способом определяют среднюю скорость воздуха внутри воздухопровода?
5. Каковы законы распределения скоростей воздуха по поперечному сечению воздухопровода при ламинарном и турбулентном режимах потока?
6. Как измеряют скорость воздуха анемометром?
7. В каких случаях применяют способ определения скорости воздуха по показаниям кататермометра?
8. Каковы параметры стандартного воздуха?
9. По каким формулам рассчитывают среднюю скорость и расход воздуха в воздухопроводе?
10. По какой формуле находят среднее динамическое давление в воздухопроводе?

Лабораторная работа № 3.

Измерение потерь давления в воздухопроводах

Цель работы. Научиться измерять и определять сопротивления в воздухопроводах при испытании и исследовании вентиляционных установок.

Необходимые приборы. Пневмометрическая трубка, микроманометр, шланги, линейка, рулетка или метр.

Порядок выполнения работы. Замеряют длину l и диаметр D прямых участков воздухопровода между двумя измеряемыми сечениями. Замеряют параметры фасонных частей, расположенных между измеряемыми сечениями. Например, у отводов замеряют радиус и угол. Результаты этих замеров наносят на схему вентиляционной установки. Составляют формы таблиц 3 и 5, Подготавливают микроманометр и пневмометрическую трубку для измерения общих и динамических давлений не менее чем в шести точках в двух последовательных сечениях по методике лабораторной работы № 2. Для экономии времени на выполнение лабораторной работы № 3 можно использовать результаты измерения давлений таблицы 3, выполненные в лабораторной работе № 2. Для этого находят общие избыточные давления для заданных двух сечений как средние арифметические из шести измерений.

Записывают уравнение Д. Бернулли в общих избыточных давлениях для двух заданных сечений

$$\pm H_{01} = \pm H_{02} + H_{\text{ПТ1-2}}, \quad (3.1)$$

где H_{01} и H_{02} — общие избыточные давления в первом и втором сечениях воздухопровода, Па; $H_{\text{ПТ1-2}}$ — потери давлений между измеряемыми сечениями, Па.

Из уравнения Д. Бернулли — формула (47) — находят потери давления между измеряемыми сечениями

$$H_{\text{ПТ1-2}} = \pm H_{01} - (\pm H_{02}). \quad (3.2)$$

Величину общих избыточных давлений находят по замерам из таблицы 2.1 и формулы (12) [7].

Если измеряемые сечения 1—1 и 2—2 находятся во всасывающем воздухопроводе, то общие избыточные давления H_{01} , и H_{02} , будут отрицательны и с учетом знаков выражение (t_0) принимает вид

$$H_{\text{ПТ1-2}} = -H_{01} + H_{02} > 0. \quad (3.3)$$

Общие потери давления, найденные по формуле (3.2), состоят из потерь давления на прямых воздухопроводах $H_{\text{пр}}$ и на местные сопротивления $H_{\text{м.с}}$

$$H_{\text{ПТ}} = H_{\text{пр}} + H_{\text{м.с}} \quad (3.4)$$

или

$$H_{\text{ПТ}} = Rl + \sum \xi H_{\text{Дср}} \quad (3.5)$$

где $H_{м.с}$ — потери давления на местные сопротивления подсчитывают по формуле

$$H_{м.с} = \sum \xi H_{дср} , \quad (3.6)$$

где $\sum \xi$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений между измеряемыми сечениями (находят по таблицам 11, 33, 36, 37 [7]); $H_{дср}$ — среднее динамическое давление между сечениями 1—1 и 2—2 находят как среднее арифметическое между $H_{дср1}$ и $H_{дср2}$.

Средние динамические давления в сечениях 1—1 и 2—2 находят по формуле (2.3). H_{np} — потери давления прямых воздухопроводов (в Па) находят по следующим формулам:

$$H_{np} = Rl \quad (3.7)$$

или

$$H_{np} = \frac{\lambda}{D} l H_{дср} , \quad (3.8)$$

где $R = \frac{\lambda}{D} \frac{\rho v^2}{2}$ — потери давления на 1 м длины воздухопровода, λ — коэффициент сопротивления круглых прямых воздухопроводов; l — общая длина прямых воздухопроводов (равна длине прямых участков и выпрямленной длине отвода l_0)

$$l_0 = \frac{\pi R_0 \alpha}{180} , \quad (3.9)$$

где R_0 — радиус отвода, м; α — угол отвода, град.

Величину потерь давления в прямых участках воздухопровода по замерам находят вычитанием из общих потерь давления потери на местные сопротивления, т. е.

Зная величину потерь давления в прямых воздухопроводах и длину участка, находят потери давления

$$H_{пп} = H_{пт1-2} - H_{м.с} \quad (3.10)$$

Зная величину потерь давления в прямых воздухопроводах и длину участка, находят потери давления на 1 м длины воздухопровода, т. е. величину R по замерам

$$R = \frac{H_{np}}{l} . \quad (3.11)$$

Зная R и среднее динамическое давление $H_{дср}$, находят величину λ/D по замерам

$$\frac{\lambda}{D} = \frac{R}{H_{дср}} . \quad (3.12)$$

Замеренные величины R и λ заносят в таблицу 5. В эту же таблицу записывают теоретические (табличные) значения R и λ , которые находят из номограммы (см. рис. 44), соединяя линейкой среднюю скорость с диаметром воздухопровода. Величину R можно также найти из приложения

4 по скорости и диаметру.

Анализ результатов замеров и выводы. Анализируя полученные результаты замеров и расчетов, необходимо ответить на следующие вопросы.

1. Как определяют потерн давления между двумя последовательными сечениями с применением уравнения Д. Бернулли?
2. По каким формулам рассчитывают потери давления на участке вентиляционной сети, имеющем пряные воздухопроводы и местные сопротивления?
3. Что такое K и X и от чего они зависят?
4. Каковы отклонения (в %) замеренных величин R и λ от табличных значений? При отклонениях более 5% необходимо выяснить причины повышенных расхождений.

При ответе на первый вопрос нужно написать уравнение Д. Бернулли для измеряемых сечений. При ответе на второй вопрос — написать и объяснить расчетную формулу потерь давления на участке вентиляционной сети — формула (49). При ответе на четвертый вопрос, в случае, когда замеренные величины R и λ/D окажутся больше табличных значений, следует осмотреть состояние воздухопроводов между измеряемыми сечениями. Проверить, нет ли вмятин на поверхности воздухопроводов. Также возможны выступы прокладок во фланцевых соединениях внутри воздухопровода.

Если в лаборатории имеются воздухопроводы различного диаметра, например 100 и 200 мм одинаковой длины, то лабораторную работу № 3 можно выполнять по УИРС. В этом случае исследуют зависимость потерь давления от диаметра и длины воздухопровода.

Для этого замеряют потери давления на двух участках воздухопроводов одинаковой длины при одинаковой скорости воздуха разного диаметра— 100 к 200 мм. Сравнивают порученные потери давления с теорией по формуле (51).

Вопросы для самоконтроля к лабораторной работе № 3

1. Какой закон выражает уравнение Д. Бернулли и как написать его в общих избыточных давлениях?
2. Как определять по замерам потери давления между двумя последовательными сечениями воздухопровода?
3. По какой формуле рассчитывают потери давления в воздухопроводах на участке сети?
4. Как называют величину R в формуле потерь давления и по какой формуле ее можно рассчитать?
5. Как называют величину λ в формуле потерь давления и по каким формулам ее рассчитывают?
6. По какой формуле рассчитывают потерн давления на местные сопротивления?
7. Как называются местные сопротивления на участке вентиляционной сети?"
8. Для чего применяют конфузор и от чего зависит его коэффициент местного сопротивления?
9. От чего зависит коэффициент местного сопротивления отвода?
10. От чего зависят коэффициенты местных сопротивлений тройника?

Лабораторная работа № 4.

Испытание пылеотделителя (всасывающего фильтра или циклона), определение сопротивления

Цель работы. Научиться измерять сопротивление фильтра или циклона к подсос воздуха в фильтре или циклоне при испытании и исследовании пылеотделителей вентиляционных установок. Найти зависимость сопротивления фильтра от нагрузки на ткань и сопротивления циклона от входной скорости.

Необходимые приборы и инструменты. Пневмометрическая трубка, микроманометр, линейка, рулетка или метр.

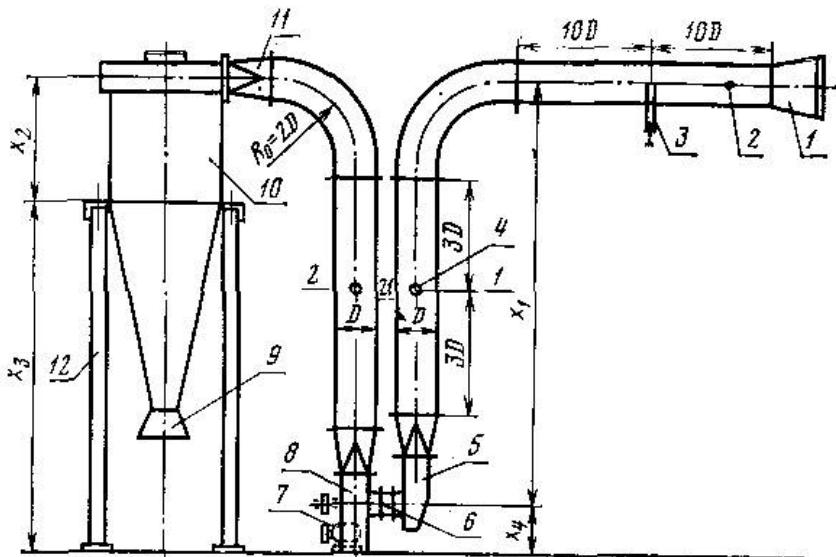


Рис. 4.1 Схема стенда для испытания циклона и вентилятора:

1 – входной коллектор; 2 – штуцер; 3 – задвижка; 4 – заглушка; 5 – коробка ЦАГИ; 6 – мягкая вставка; 7 – электродвигатель; 8 – вентилятор; 9 – сборная коробка; 10 циклон; 11 – конфузор; 12 – станина.

Порядок выполнения работы.

Знакомятся со схемой вентиляционной установки и с испытываемым пылеотделителем. Составляют часть схемы с двумя сечениями в воздухопроводах для замеров давлений. Одно сечение перед входом воздуха в пылеотделитель, второе на выходе. Например, при испытании всасывающего фильтра (рис. 3) замеры проводят в сечениях 11—11 и 12—12. При испытании батарейного циклона 10 измерения давлений проводят в сечениях 7—7 и 8—8.

При испытании всасывающего фильтра 10 по схеме, приведенной на рисунке 2, где имеется два параллельных воздухопровода на входе в

фильтр, необходимо измерять давления и расход воздуха в трех сечениях: на входе в сечениях 5—5 и 22—22, на выходе в сечении 6—6. Расход воздуха на входе в фильтр суммируют, а общее давление в уравнении Д. Бернулли принимают среднее между H_{05} и H_{022} или только одно в сечении 5—5.

При испытании фильтра замеряют диаметр и длину рукавов и определяют фильтрующую поверхность фильтра (в м^2). При испытании циклона замеряют диаметры наружного и внутреннего цилиндра циклона, размеры входного отверстия. Определяют тип (марку) циклона. Записывают эти результаты в таблицу 6 или 7,

Замеряют диаметр и длину прямых участков воздухопроводов и выясняют характеристику фасонных частей от измеряемых сечений до входного и выходного отверстий фильтра или циклона. Все эти размеры наносят на схему (рис. 2 или 3) или на составленную часть схемы сети. Составляют или принимают готовую рабочую таблицу 3 и таблицу 6 при испытании фильтра или таблицу 7 при испытании циклона.

Подготавливают приборы для измерения давлений. Пускают вентиляционную установку. Замеряют общее и динамическое давления в двух сечениях при входе воздуха во всасывающий фильтр или циклон и при выходе из фильтра или циклона. Результаты замеров записывают в таблицу 3. Находят расход воздуха Q , входящего в фильтр или циклон, по формуле (45). Определяют входную скорость в циклон или нагрузку на ткань (в $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$) по формуле

$$Q_{\text{уд}} = Q / S_{\text{ф}}, \quad (4.1)$$

где $S_{\text{ф}}$ — фильтрующая площадь, м^2 .

Входную скорость в циклон определяют по формуле

$$V_{\text{вх}} = Q / S_{\text{вх}}, \quad (4.2)$$

где $S_{\text{вх}} = ab$ — площадь входного отверстия, м^2 ; a и b — размеры входного отверстия в циклон по замерам.

Удельную нагрузку на ткань фильтра и входную скорость в циклон, полученные расчетом, сравнивают с оптимально допустимыми.

Удельную нагрузку на ткань фильтра с продувкой атмосферным воздухом допускают $90 \dots 320 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$, для фильтров с импульсной продувкой ткани сжатым воздухом — до $400 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$.

Оптимальная входная скорость в цилиндрические циклоны 15... 18, в конусные циклоны 12...14 м/с.

Записывают уравнение Д. Бернулли в общих давлениях и находят потери давления между измеряемыми сечениями. Например, для сечений 11—11 и 12—12 (рис. 4.1):

$$\pm H_{011} = \pm H_{012} + H_{\text{ПТ11-22}}, \quad (4.3)$$

откуда

$$H_{\text{ПТ11-22}} = \pm H_{011} - (\pm H_{012}). \quad (4.4)$$

Т а б л и ц а 6. Сводная таблица результатов замеров и расчетов сопротивления и подсосов в фильтре (к лабораторной работе № 4)

Номер сечения по схеме	Диаметр воздуш- провода D, мм	Среднее динамиче- ское давление H _{ср} , Па	Средняя скорость v _{ср} , м/с	Расход Q, м³/ч	Число секций	Число рукавов	Диаметр рукавов, мм	Длина рукавов, мм	Фiltrуемая поверхность ЗФ, м²	Подсос воздуха в фильтр	Удельная нагрузка на ткань фильтра, Q _{уд} , кг/(ч·м²)	по замерам	из номограм- мы	% расхождение,	Сопоставление фильтра ИФ, Па
---------------------------	----------------------------------	--	---	----------------	--------------	---------------	------------------------	----------------------	-------------------------------------	-------------------------------	--	------------	--------------------	-------------------	---------------------------------

Т а б л и ц а 7. Сводная таблица результатов замеров и расчетов по определению сопротивления циклона
(к лабораторной работе № 4)

Номер сечения 10 схеме	Диаметр воздушного- провода D , мм	Плотность сечения воздухопровода S , м ²	Среднее линейное- сое давление $H_{\text{ср}}$, Па	Средняя скорость $C_{\text{ср}}$, м/с	Расход воздуха Q , м ³ /с	<table><tr><td>a</td><td>b</td></tr><tr><td colspan="2">ответствия, мм входного давления</td></tr></table>	a	b	ответствия, мм входного давления		Площадь входного отверстия $S_{\text{вх}}$, м ²	Входная скорость $C_{\text{вх}}$, м/с	Скорректированное циклона $H_{\text{ц}}$, Па	Коэффициент со- противления циклона $\zeta_{\text{ц}}$	Наружный диаметр циклона D , мм	Внутренний диаметр циклона d , мм	Скорость на выходе C , м/с
a	b																
ответствия, мм входного давления																	

Подсчитывают потери давления в воздухопроводах $H'_{пт}$ от измеряемого сечения 11—11 до входа в фильтр и $H''_{пт}$ от выхода из фильтра до сечения 12—12 после фильтра по формуле (49). Из общих потерь давления между измеряемыми сечениями $H_{пт\ 11-12}$ вычитают найденные расчетом потери давления в воздухопроводах $H'_{пт}$ и $H''_{пт}$ и определяют искомые потери давления в фильтре (или сопротивление фильтра)

$$H_{\phi} = H_{пт\ 11-12} - (H'_{пт} + H''_{пт}). \quad (4.5)$$

Таким же образом определяют сопротивление циклона $H_{ц}$. Подсос воздуха в фильтре или циклоне определяют по разности расходов на выходе и входе.

Полученный при— замерах подсос сравнивают с допустимым по нормам. Подсос в фильтрах принимают до 10%, в циклонах 150 м³/ч на один шлюзовый затвор.

Если испытывают циклон на стенде под нагнетанием по схеме, приведенной на рисунке 5, тогда замеряют утечки воздуха из циклона по разности расходов на входе и выходе.

Для измерения сопротивления фильтра или циклона при другой удельной нагрузке на ткань или другой входной скорости изменяют расход воздуха регулированием задвижки или изменением частоты вращения вентилятора.

Увеличить удельную нагрузку на ткань фильтра можно также уменьшением фильтрующей поверхности посредством отключения одной из секций фильтра.

Результаты замеров и расчетов записывают и таблицу 6 или 7,

Сопротивление фильтра H_{ϕ} или циклона $H_{ц}$, полученные замерами, сравнивают с теоретическими. Для этого записывают формулу сопротивления фильтра

$$H_{\phi} = A + BQ_{уд}, \quad (4.6)$$

где $Q_{уд}$ — удельная нагрузка на ткань, м³/(ч·м²); A и B — опытные коэффициенты, зависящие от вида пыли и фильтровальной ткани.

Значения коэффициентов A и B для различных видов пыли для фильтровального сукна № 2 даны в номограмме (рис. 46) [7], разработанной ЦНИИ промзернопроект.

По удельной нагрузке на ткань $Q_{уд}$ находят табличное сопротивление фильтра из номограммы (рис. 46) [7] или из графика (см. рис. 47) [7]. По номограмме можно определять сопротивление фильтра на любых видах пыли. График позволяет определять сопротивление фильтра только на зерновой элеваторной пыли.

Сопротивление фильтра по номограмме определяют следующим образом. Из точки значения Q_{iA} проводят линейкой вертикальную линию и находят точку на линии сопротивления. Из этой точки проводят линейкой горизонтальную линию и на продолжении линейки слева на вертикальной шкале отыскивают искомое сопротивление фильтра H_{ϕ} .

Найденное табличное сопротивление фильтра сравнивают с замерным, находят процент расхождения по формуле (15). Сопротивление циклона находят по формуле

$$H_{\text{ц}} = \zeta_{\text{ц}} \frac{\rho v^2}{2}, \quad (4.7)$$

где $\zeta_{\text{ц}}$ — коэффициент сопротивления циклона, зависит от типа и конструкции циклона. Для цилиндрических циклонов не зависит, а для конусных зависит от наружного диаметра циклона.

Значение коэффициента сопротивления циклона по замерам находят из формулы

$$\zeta_{\text{ц}} = \frac{2 H_{\text{ц}}}{\rho v^2}, \quad (4.8)$$

где $H_{\text{ц}}$ — сопротивление циклона по замерам в Па.

Найденное значение коэффициента сопротивления циклона $\zeta_{\text{ц}}$ по замерам сравнивают с табличными значениями существующих циклонов разных типов.

Коэффициенты сопротивления существующих цилиндрических циклонов принимают для циклонов ЦОЛ $\zeta_{\text{ц}}=4$, БЦШ ВНИИЗ НИИОГАЗ $\zeta_{\text{ц}}=5$. Для конусных циклонов ОТИ $\zeta_{\text{ц}}=12D$, для УЦ-38 $\zeta_{\text{ц}}=20$, где D — наружный диаметр циклона (в м).

Анализ результатов испытаний мылеотделителя и выводы. В результате выполнения работы необходимо ответить на следующие вопросы.

1. От чего зависит сопротивление всасывающего фильтра?

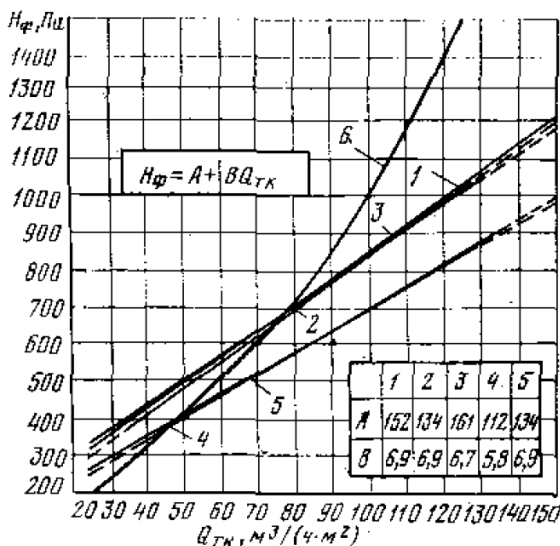


Рис. 46. Номограмма для определения сопротивления всасывающих фильтров:

1 — в элеваторе; 2, 3 — в зерноочистительном отделении мукомольного и крупяного заводов; 4, 5 — в размольном и шелушильном отделениях мукомольного и крупяного заводов; 6 — на пневмотранспортных установках для фильтров Г4–9БФМ.

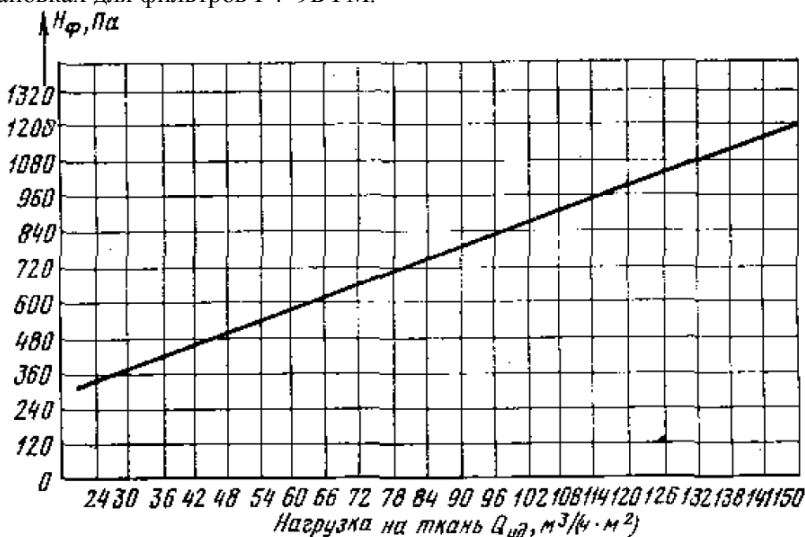


Рис. 47. График сопротивления фильтров на зерновой пыли по данным ЦНИИ промзернопроект.

- Какова допустимая скорость фильтрации (или удельная нагрузка на ткань фильтра)?
- Чем можно объяснить меньшее сопротивление фильтра в лабораторных условиях, определенное по замерам, по сравнению с фильтром, работающим в производственных условиях с такой же скоростью фильтрации?
- Каков допустимый подсос воздуха во всасывающих фильтрах? Почему он выше подсоса в воздухопроводах?
- Чем можно объяснить повышенный подсос воздуха в фильтре при замерах?

При ответах на вопросы необходимо проработать теоретическую часть курса о матерчатых фильтрах, проанализировать величины, входящие в формулу (53), уяснить механизм очистки ткани фильтра.

При испытании циклона необходимо ответить на следующие вопросы.

- От чего зависит сопротивление циклонов?
- Каково значение коэффициентов сопротивления различных типов циклонов?
- У каких типов циклонов коэффициент сопротивления зависит от диаметра циклона?

4. Каковы оптимальные входные скорости воздуха в циклоны различных типов;

Вопросы для самоконтроля к лабораторной работе № 4

По фильтрам

1. Какой коэффициент очистки воздуха от пыли дают фильтры?
2. Каким способом очищается фильтровальная ткань в фильтрах 1 БФМ?
3. Какая удельная нагрузка на ткань допускается в фильтрах 1 БФМ?
4. Каким способом очищается фильтровальная ткань в фильтрах БФЭ?
5. Какая удельная нагрузка допускается на ткань во всасывающих фильтрах БФЭ?
6. От чего зависит сопротивление фильтровальной ткани?
7. Каким устройством удаляется пыль из всасывающего фильтра?
8. Какая бывает концентрация пыли в очищенном воздухе после фильтра?
9. Какую концентрацию пыли можно допускать при входе воздуха в фильтр из условий взрывобезопасности?
10. Можно или нет подавать воздух, очищенный в фильтре, в рабочее помещение?

По циклонам

1. Какой коэффициент очистки воздуха от пыли дают циклоны?
2. Какой тип циклона дает наилучший коэффициент очистки воздуха от мучной пыли?
3. Как влияет диаметр циклона на эффективность очистки воздуха от пыли?
4. Как зависит коэффициент очистки воздуха в циклоне от входной скорости?
5. В каких типах циклонов оптимальная входная скорость больше, в каких меньше?
6. Какими устройствами удаляется из циклонов осажденная пыль?
7. Под действием какой силы очищается воздух от пыли в циклоне?
8. Куда удаляют воздух, очищенный в циклонах?
9. В чем преимущества циклона по сравнению с фильтром?
10. В чем недостаток – циклона по сравнению с фильтром?

Лабораторная работа № 5.

Испытание вентилятора. Определение зависимости расхода воздуха, давления и потребной мощности вентилятора от частоты его вращения

Цель работы. Научиться измерять давление, развиваемое вентилятором, расход воздуха и мощность при исследовании и испытании вентиляторов. Проверить законы пропорциональности в работе вентилятора и его характеристику. Выяснить влияние частоты вращения вентилятора на работу вентиляционной установки.

Необходимые приборы. Пневмометрическая трубка, микроманометр, тахометр, ваттметр, амперметр (или мегомметр).

Необходимые знания. Вывод из графика распределения давлений в воздухопроводах о величине развиваемого вентилятором давления — формула (10), Законы пропорциональности в работе вентилятора. Формула мощности для привода вентилятора. Формула теоретического и действительного давления, развиваемого вентилятором.

Порядок выполнения работы. Замеряют диаметры воздухопроводов в двух сечениях: на входе в вентилятор —

тор и на выходе из него. Например, в сечениях $I—I$ и $II—II$ (см. рис. 1). Замеряют длину прямых воздухопроводов и выявляют характеристику фасонных частей от измеряемых сечений до входного и выходного отверстий вентилятора. Результаты замеров наносят на схему сети (см. рис. 1). Составляют форму таблицы 8 и 9 или берут их готовыми. Пускают в ход вентиляционную установку, замеряют тахометром частоту вращения вентилятора n , замеряют общее и динамическое давление в воздухопроводах на входе и выходе. Можно замерять общее и статическое давления, а динамическое находить по разности. Результаты записывают в таблицу 8. Количество точек замера принимают в зависимости от диаметра воздухопроводов, согласно методике лабораторной работы №2. Определяют расход воздуха $Q_{в1}$, давление $H_{в1}$, развиваемое вентилятором, и мощность $N_{в1}$.

Изменяют частоту вращения вентилятора $n_{в2}$. Повторяют все замеры при измененной частоте вращения и определяют давление $H_{в2}$, расход $Q_{в2}$ и мощность $N_{в2}$.

Расход воздуха, перемещаемого вентилятором, принимают по расходу воздуха при входе в вентилятор в сечении $I—I$ $Q_{в} = Q_{I—I}$ или берут среднее между расходами на входе и выходе

$$Q_{с} = \frac{Q_{I—I} + Q_{II—II}}{2}. \quad (5.1)$$

Расход воздуха определяют по той же методике, что и в предыдущих работах. Давление вентилятора $H_{в}$ находят по сумме общих избыточных давлений на входе в вентилятор $H_{0_{вх}}$ и на выходе из него $H_{0_{вых}}$ без учета знаков, согласно зависимости (10), т. е.

$$H_{в} = H_{0_{вх}} + H_{0_{вых}} \quad (5.2)$$

Если в уравнении (10) подставить вместо общих избыточных давлений во входном и выходном отверстиях вентилятора общие давления в сечениях 11—11 и 12—12 (см. рис. 2), то полученное значение давления вентилятора будет заниженным. Для более точного определения давления, развиваемого вентилятором, необходимо рассчитать потери давления на участках от измеряемых сечений 11—11 и 12—12 до входного и выходного отверстий вентилятора и прибавить эти потери к давлению вентилятора

$$H_v = H_{011} + H_{012} + H'_{пт} + H''_{пт} \quad (5.3)$$

где H_{011} — избыточное общее давление до вентилятора в сечении 11—11 по замерам без учета отрицательного знака; H_{012} — избыточное общее давление после вентилятора в сечении 12—12; $H'_{пт}$ и $H''_{пт}$ — потери давления в воздухопроводах от измеряемых сечений до входного и выходного отверстий вентилятора,

Давление, развиваемое вентилятором, можно также определить непосредственно измерением микроманометром с применением двух пневматических трубок. Для этого полное давление от пневматической трубки, установленной во всасывающем воздухопроводе при входе в вентилятор (см. рис. 24), подсоединяют к штуцеру трубки микроманометра, а полное давление от пневматической трубки, установленной в нагнетательном воздухопроводе на выходе из вентилятора, — к штуцеру чашки микроманометра. К замеренному таким образом давлению вентилятора следует добавить потери $H'_{пт}$ и $H''_{пт}$,

Мощность на валу вентилятора (в кВт) может быть рассчитана по формуле

$$N_g = \frac{Q_g H_g}{1000 \zeta_g} \quad (5.4)$$

где Q_g — расход воздуха, перемещаемого вентилятором, м³/с; H_g — давление вентилятора, Па; ζ_g — КПД вентилятора (находят из характеристик).

При испытании вентилятора в установке (см. рис. 1.1 или 4.1) КПД принимают по рисунку 5.1...5.3. КПД вентилятора, установленного на стенде, принимают по рисунку 5.1...5.3. Характеристика вентилятора ВЦП-3 последнего выпуска показана на рисунке 5.3.

Мощность электродвигателя для привода вентилятора определяют по формуле

$$N_g = \frac{KN_g}{\zeta_1 \zeta_2}, \quad (5.5)$$

где K — коэффициент запаса, принимают от 1,1 при $N_g > 5$ кВт до 1,5 при $N_g < 0,5$ кВт, 5 кВт; ζ_1 — КПД подшипников вентилятора ($\zeta_1 = 0,97$); ζ_2 — КПД передачи (для клиноременной передачи $\zeta_2 = 0,98...0,96$; для плоскоремной $\zeta_2 = 0,85...0,9$).

Таблица 8. Рабочая таблица результатов измерений в воздухопроводах при испытании вентилятора
(к лабораторной работе № 5)

Номер точки замера	Расстояние точки замера от стенки, мм	Избыточные давления									
		общее				статическое				динамическое	
		длина шкалы l , мм		$\pm H_0$, Па		длина шкалы l , мм		коэффициент K		$\pm H_{ст}$, Па	
		n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2

Сечение 1-е до вентилятора

Диаметр $D = \text{--- мм}$

1
2
3
4
5
6

Сечение 2-е после вентилятора

Диаметр $D = \text{--- мм}$

1
2
3
4
5
6

Работу выполнил студент группы Фамилия, и, о. Подпись Дата

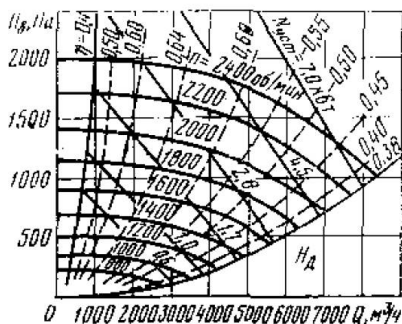


Рис. 5.1. Характеристика вентилятора ЦАГИ № 3 (ГОСТ 659-41).

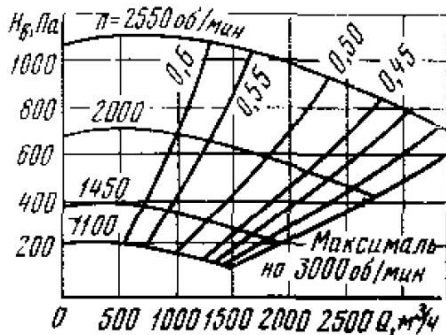


Рис. 5.2. Характеристика вентилятора ЦАГИ № 3 (ГОСТ 5976-55).

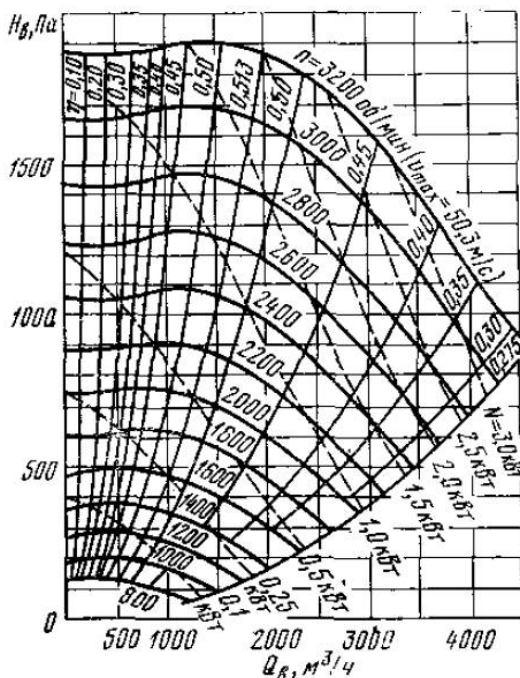


Рис. 5.3. Характеристика вентилятора (ЦБ-4Б № 3) (ГОСТ 10616-ИЗ).

Полученные отношения частот вращения, расходов давлений и мощностей при Двух различных частотах вращения необходимо сравнить с теоретическими зависимостями из законов пропорциональности. Для этого нужно сравнить отношение частот вращения (см. табл. 9, гр. 8) с

отношением расходов (гр. 9), найти расхождения первого закона пропорциональности.

$$\frac{Q_{e1}}{Q_{e2}} = \frac{n_1}{n_2}. \quad (5.6)$$

Далее возвести в квадрат отношение частот вращения и сравнить полученную величину с отношением давлений (гр. 10), проверив второй закон пропорциональности

$$\frac{H_{e1}}{H_{e2}} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2. \quad (5.7)$$

После этого возвести в куб отношение частот вращения и сравнить с отношением мощностей (гр. 11), определив расхождения третьего закона пропорциональности

$$\frac{N_{e1}}{N_{e2}} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3. \quad (5.8)$$

Действительное давление {в Па}, развиваемое вентилятором, выражается формулой

$$H_g = \rho \zeta_\phi u^2, \quad (5.9)$$

где $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ — плотность стандартного воздуха; u — окружная скорость рабочего колеса вентилятора, м/с; $u = \pi D_k n / 60$ (D_k — диаметр рабочего колеса вентилятора в м); n — частота вращения вентилятора, об/мин; ζ_ϕ — КПД вентилятора принимается из характеристик, как и при расчете мощности, по формуле (56); ϕ — коэффициент закручивания зависит от формы лопаток рабочего колеса вентилятора. У рабочих колес, лопатки которых загнуты вперед, $\phi = 1,1 \dots 1,35$, При радиальных лопатках $\phi = 1,0$. У вентиляторов низкого давления лопатки иногда загнуты назад и $\phi = 0,5 \dots 0,8$.

Коэффициентом закручивания ϕ называют отношение проекции абсолютной скорости c на направление окружной скорости к окружной скорости u , т. е. $\phi = c \cdot \cos \alpha / u$, где α — угол между абсолютной скоростью c и окружной u .

Величина $H = \zeta_D$ называется коэффициентом полного давления вентилятора.

Анализ результатов испытания вентилятора и выводы. В результате выполнения работы № 5 необходимо ответить на следующие вопросы.

1. Как определяется давление, развиваемое вентилятором, замерами и по формулам?

2. Как определить мощность на валу вентилятора?

3. Как определить номер вентилятора?

4. Какое исполнение имеют вентиляторы в установках, показанных на рисунках 2, 3 и 5, согласно ГОСТ 5976—73 {рис.51)?

5. Какой ход имеют вентиляторы в установках, показанных на рисунках 2, 3 и 5?

6. Соблюдаются ли законы пропорциональности в работе данного вентилятора по результатам замеров и чем можно объяснить отклонение от законов пропорциональности?

При ответе на первый вопрос руководствуются выводом из графика (см. рис. 7) и формулами (10), (55) и (61).

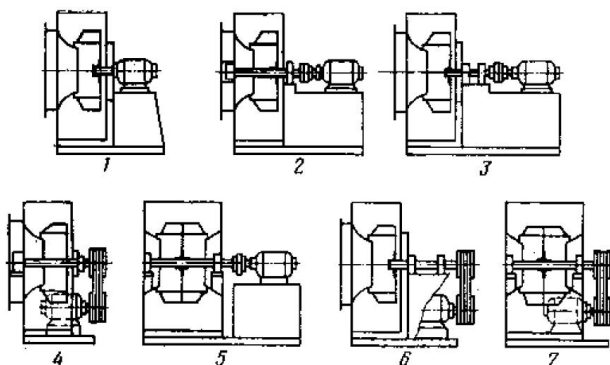


Рис. 5.4. Исполнения вентиляторов по виду привода (ГОСТ 5976—73).

Номер вентилятора определяют по диаметру рабочего колеса. Исполнение по типу привода определяют по рисунку 51. Ход вентилятора определяют по направлению вращения рабочего колеса. Построение характеристики вентилятора, т. е. определение зависимости давления вентилятора H_n от расхода воздуха Q_v , на стенде (см. рис. 5), производят следующим образом. Пускают вентилятор, замеряют частоту вращения $n = \text{const}$. Устанавливают задвижку 3 в определенном положении и замеряют скорость и расход воздуха в сечении 1—1 по среднему динамическому давлению или по входному коллектору с учетом формул (42), (45) и (29). Замеряют статическое давление в сечениях 1—1 и 2—2 до и после вентилятора. $H_{ст1}$ и $H_{ст2}$

Определяют давление вентилятора с учетом формул (10) и (55):

$$H_v = H_{cm1} + \frac{\rho v_1^2}{2} + H'_{пт} + H_{cm2} + \frac{\rho v_2^2}{2} + H''_{пт}, \quad (5.10)$$

где $H'_{пт}$ и $H''_{пт}$ — потери давления от сечения 1—1 до входного отверстия вентилятора и от выходного отверстия до сечения 2—2; подсчитываются по формуле (19).

Коэффициент сопротивления конфузора находят по таблице 11, диффузора — по таблице 37 [7]. Коэффициент сопротивления коробки ЦАГИ принимают равным 0,27. По расходу воздуха $Q_{в1}$ к давлению $H_{в1}$ находят на графике (рис. 52) точку 1. Изменив режим работы вентилятора задвижкой, повторяют замеры и рассчитывают расход $Q_{в2}$ и давление вентилятора $H_{в2}$ при втором режиме. На графике находят точку 2.

Аналогично находят и остальные точки графика. Соединяя эти точки плавной кривой, получают характеристику вентилятора $H_v=f(Q_v)$ при $n_1=\text{const}$.

Изменив частоту вращения вентилятора вариатором, можно таким же образом построить вторую кривую характеристики вентилятора при $n_2=\text{const}$.

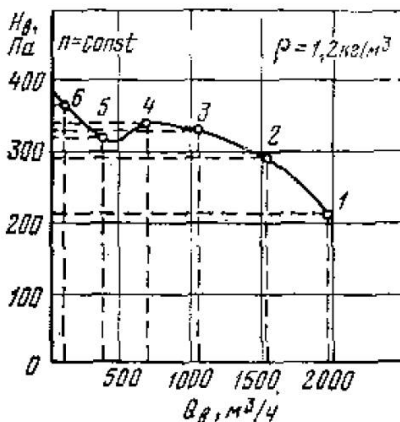


Рис. 5.5. Построение характеристики вентилятора при его испытании.

Тип вентилятора и его марку в графе 12 таблицы 9 объясняют следующим образом. Например, вентилятор ЦП7–40 означает центробежный, пылевой с коэффициентом давления $H=0,7$ и критерием быстроходности $n_{уд} = 40$ об/мин.

Вопросы для самоконтроля

1. Чему равно давление, развиваемое вентилятором в сети?
2. Как измеряют давление вентилятора в сети?
3. По какой формуле рассчитывают действительное давление вентилятора?
4. По какой формуле рассчитывают мощность на валу вентилятора?
5. По какой формуле рассчитывают мощность электродвигателя для привода вентилятора?
6. Как определяют номер вентилятора?
7. Как определяют ход вентилятора?
8. Как изменяется расход воздуха вентилятора при изменении частоты его вращения?
9. Как изменяется давление вентилятора при изменении частоты его вращения?
10. Как изменится мощность на валу вентилятора при изменении частоты его вращения?

Таблица 5.2 Сводная таблица результатов замеров и расчетов по испытанию вентилятора

1	2	3	4	5	6	7	Отношение большего к меньшему $n_1 < n_2$				12	13	14
Номер замера	Частота вращения вентилятора n , об/мин	Среднее динамическое давление на входе $H_{дсп}$, Па	Средняя скорость на входе v , м/с	Расход воздуха на входе Q , м³/ч	Давление всасывающего вентилятора H_B , Па	Мощность на валу вентилятора N_B , кВт	Частота вращения n_1/n_2	Расход Q_1/Q_2	Давление H_1/H_2	Мощность N_1/N_2	Тип и марка вентилятора	Номер вентилятора	Испытание по ГОСТ 5976-73

Рекомендуемая литература

1. Оборудование предприятий общественного питания: Учебное пособие/ В.Ф. Кашенко, Р.В. Кашенко. - М.: Альфа-М, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 412 с. (ЭБС)
2. Оболенский Н.В. Холодильное и вентиляционное оборудование: учеб. пособие для студ. вузов / Н.В. Оболевский, Е.А. Денисюк. – М.: КолосС, 2006. – 247 с.
3. Цуранов О.А. Холодильная техника и технология: учеб. для студ. вузов / О.А. Цуранов, А.Г. Крысин. – СПб.: Питер, 2004. – 446 с.
4. Холодильная техника и технология: учеб. для студ. вузов / под ред. А.В. Руцкого. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 286 с.
5. Веселов С.А. Практикум по вентиляционным установкам. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Колос, 1982. – 255 с.
6. Устройство, эксплуатация и обслуживание холодильного оборудования : учебное пособие / Д. И. Грицай, И. В. Капустин, В. И. Марченко, Е. В. Кулаев. — Ставрополь : СтГАУ, 2019. — 52 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/169704>. — Режим доступа: для авториз. пользователей. (ЭБС)
7. Пыжов, В.К. Системы кондиционирования, вентиляции и отопления : учебник / В.К. Пыжов, Н.Н. Смирнов ; ИГЭУ. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. - 528 с. - ISBN 978-5-9729-0345-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1053294> – Режим доступа: по подписке. (ЭБС)

Содержание

	Стр
Раздел Холодильное оборудование.....	3
Лабораторная работа №1. Определение длительности охлаждения пищевых продуктов.....	3
Лабораторная работа №2. Изучение работы поршневого компрессора	5
Лабораторная работа №3. Изучение работы автономного кондиционера	9
Лабораторная работа №4. Испытание льдогенератора «Convito» КТ-15-003.....	12
Лабораторная работа №5. Испытания малых холодильных установок	14
Раздел Вентиляционное оборудование.....	18
Лабораторная работа №1. Измерение давлений в воздухопроводах...	21
Лабораторная работа №2. Измерение скоростей и расходов воздуха в воздухопроводах.....	26
Лабораторная работа №3. Измерение потерь давления в воздухопроводах	32
Лабораторная работа №4. Испытание пылеотделителя (всасывающего фильтра или циклона), определение сопротивления пылеотделителя и подсосов воздуха в нем.....	35
Лабораторная работа №5. Испытание вентилятора. Определение зависимости расхода воздуха, давления и потребной мощности вентилятора от частоты его вращения.....	42
Рекомендуемая литература.....	50

Составители: *Диденко Александр Александрович*
Пшенов Евгений Александрович

ХОЛОДИЛЬНОЕ И ВЕНТИЛЯЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Лабораторный практикум

Печатается в авторской редакции
Компьютерная вёрстка Е.А. Пшенов

Подписано в печать 28 марта 2023 г
Формат 84×108/32. Объем 3,25 уч.-изд. л
Тираж 30 экз. Изд. № . Заказ №

Отпечатано в минитипографии Инженерного института НГАУ
630039, г. Новосибирск, ул. Никитина 147