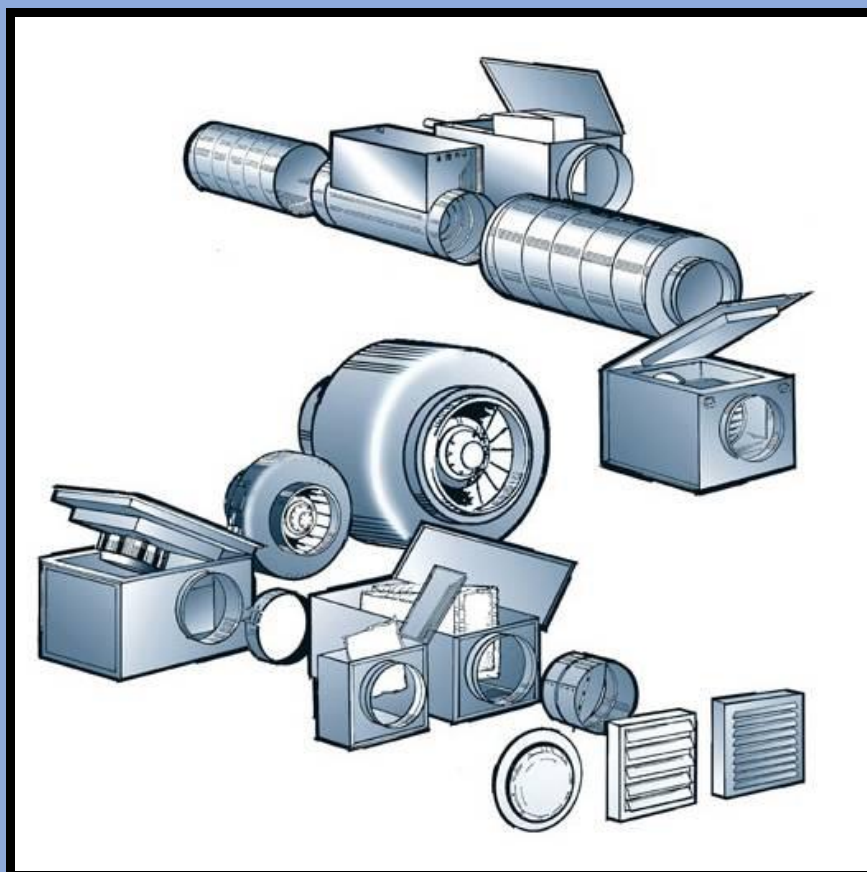


**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.
ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.
ОРГАНИЗАЦИЯ И РАСЧЕТ СИСТЕМ
ВЕНТИЛЯЦИИ**



Нижний Новгород 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»

**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.
ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.
ОРГАНИЗАЦИЯ И РАСЧЕТ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ**

*Рекомендовано Ученым советом Нижегородского
государственного технического университета им. Р.Е. Алексева
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся
по направлениям подготовки: 18.03.01, 18.04.01 «Химическая
технология», 20.03.01 «Техносферная безопасность»,
19.03.01, 19.04.01 «Биотехнология», 11.03.04, 11.04.04 «Электроника
и нанoeлектроника», 22.03.02, 22.04.02 «Металлургия»,
22.03.01, 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»
всех форм обучения*

Нижний Новгород 2025

УДК 697.9 (075.8)

П 801

АВТОРЫ:

В.М. Смирнова, И.Г. Трунова, Е.Ю. Ананьева, Е.Г. Ивашкин

Р е ц е н з е н т

кандидат химических наук, доцент *Д.В. Белов*

П 801 Производственная безопасность. Тепловой баланс производственных помещений. Организация и расчет систем вентиляции: учеб. пособие / В.М. Смирнова, Е.Ю. Ананьева, И.Г. Трунова, Е.Г. Ивашкин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2025. – 156 с.

ISBN 978-5-502-01935-4

Рассмотрены вопросы, связанные с нормированием параметров микроклимата и состава воздуха производственных помещений, выделением вредных веществ и избытков теплоты при выполнении технологических операций. Приведены методики количественной оценки интенсивности вредных выделений, определения теплоступлений в производственных помещениях и определение необходимого воздухообмена. Указаны особенности организации систем вентиляции в производственных помещениях. Изложены методики расчета систем механической вентиляции и расчета калориферов для отопления производственных помещений. Приведены примеры расчета и необходимые справочные данные.

Предназначается для студентов направлений подготовки 18.03.01, 18.04.01 «Химическая технология», 20.03.01 «Техносферная безопасность», 19.03.01, 19.04.01 «Биотехнология», 11.03.04, 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника», 22.03.02, 22.04.02 «Металлургия», 22.03.01, 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов».

Рис. 27. Табл.70. Библиогр.: 11 назв.

УДК 697.9 (075.8)

ISBN 978-5-502-01935-4

**© Нижегородский государственный
технический университет
им. Р.Е. Алексеева, 2025**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ	6
1.1. Общие положения.....	6
1.2. Расчет внутренних тепловых нагрузок.....	7
1.2.1. Расчет тепlopоступлений в рабочее помещение от нагретых поверхностей технологического оборудования.....	7
1.2.2. Расчет тепlopоступлений от стенок промышленных печей.....	8
1.2.3. Тепlopоступления от продуктов сгорания через неплотности или открытые проемы печей.....	10
1.2.4. Расчет тепlopоступлений в рабочее помещение от остывающих изделий.....	10
1.2.5. Расчет тепlopоступлений в рабочее помещение от электродвигателей, станков и механизмов.....	11
1.2.6. Расчет тепlopоступлений в рабочее помещение тепловыделения от людей.....	12
1.2.7. Расчет тепlopоступлений в рабочее помещение от искусственного освещения.....	12
1.3. Расчет наружных тепловых нагрузок.....	13
1.3.1. Расчет потерь теплоты в наружных и внутренних ограждениях помещения.....	13
1.3.2. Расчет поступления теплоты через остекленные поверхности...	16
1.3.3. Инфильтрация воздуха.....	17
1.4. Составление теплового баланса производственных помещений.....	18
1.5. Определение избытков теплоты или теплоизбытков в производственных помещениях.....	19
2. ОРГАНИЗАЦИЯ И РАСЧЕТ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ	20
2.1. Нормирование параметров воздушной среды в помещениях.....	20
2.2. Гигиеническое нормирование содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны.....	23
2.3. Системы вентиляции в производственных помещениях.....	25
2.4. Общие рекомендации по выбору и обоснованию организации воздухообмена в помещении.....	29
3. РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ	33
3.1. Расчет по нормируемой кратности воздухообмена.....	33
3.2. Расчет по нормируемому удельному расходу приточного воздуха...	34
3.3. Расчет по интенсивности вредных выделений.....	34

3.3.1. Расчет по избыткам явной теплоты.....	34
3.3.2. Расчет по избыткам влаги.....	37
3.3.3. Расчет по выделению вредных веществ.....	39
3.4. Расчет местной вытяжной вентиляции.....	51
4. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ И УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ ОБОРУДОВАНИЯ.....	55
4.1. Компоновка вентиляционных систем и оборудование камер....	55
4.1.1. Приточные и вытяжные камеры.....	55
4.1.2. Воздуховоды	56
4.1.3. Запорные и регулирующие устройства.....	58
4.2. Установки приточной и вытяжной вентиляции.....	60
4.2.1. Общие положения.....	60
4.2.2. Установки приточной вентиляции.....	61
4.2.3. Приточные вентиляционные камеры.....	66
4.2.4. Установки вытяжной вентиляции.....	66
4.3. Оборудование механической вентиляции.....	68
5. РАСЧЕТ ВОЗДУХОВОДОВ И ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ КАНАЛОВ.....	71
5.1. Размеры и масса воздуховодов.....	71
5.2. Расчет воздуховодов приточных и вытяжных систем вентиляции....	73
5.3. Расчет системы приточной вентиляции.....	105
5.3.1. Расчет потерь напора на первом участке.....	106
5.3.2. Расчет потерь напора на втором участке.....	109
5.3.3. Расчет потерь напора на третьем участке.....	109
5.3.4. Расчет потерь напора на четвертом участке.....	110
5.4. Расчет системы вытяжной вентиляции.....	112
5.4.1. Расчет потерь напора на первом участке.....	112
5.4.2. Расчет потерь напора на втором участке.....	114
5.4.3. Расчет потерь напора на третьем участке.....	115
6. РАСЧЕТ И ПОДБОР КАЛОРИФЕРОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА.....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	122
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	123
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	124

ВВЕДЕНИЕ

Проведение многих технологических процессов сопровождается выделением в производственные помещения теплоты, паров, влаги, что вызывает изменения состава и метеорологического состояния (микроклимата) воздушной среды в них. Состав воздушной среды характеризуется концентрацией содержащихся в ней веществ. Микроклимат определяется значениями температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха и барометрического давления. Изменение состава и состояния воздушной среды может негативно влиять на самочувствие людей, снижать производительность труда и вызывать различные заболевания.

Для нормирования вредного воздействия воздушной среды на организм человека разработаны гигиенические требования к составу и метеорологическому состоянию воздуха в производственных помещениях. Если поступающие в помещение теплота и влага вызывают отклонения состояния воздуха от гигиенических нормативов, то их называют соответственно избыточной теплотой и избыточной влагой и рассматривают как вредные факторы производственной среды. Аналогично, если концентрация выделяющихся в помещении веществ превышает норму, то их рассматривают как вредные выделения.

Поддержание во всем помещении или отдельных его зонах состава и метеорологического состояния воздушной среды, удовлетворяющих гигиеническим нормативам, обеспечивается вентиляцией, удаляющей из помещения загрязненный и подающей в него свежий воздух. В зависимости от способа подачи воздуха в помещение различают естественную вентиляцию, при которой перемещение воздуха происходит вследствие наличия ветрового напора или разности температур воздуха в помещении и наружного воздуха, и механическую вентиляцию, в которой для перемещения воздуха используются специальные механические побудители, как правило, вентиляторы.

В данном пособии рассмотрены методики составления теплового баланса производственного помещения с учетом внутренних и наружных тепловых нагрузок и методики расчета системы механической вентиляции. При этом авторы стремились по возможности охватить весь комплекс вопросов, связанных с проведением таких расчетов: количественную оценку интенсивности вредных выделений, определение избытков теплоты в производственных помещениях и составление теплового баланса производственных помещений, определение необходимого воздухообмена и потерь давления в вентиляционной сети, подбор вентилятора с требуемыми характеристиками, расчет и подбор калориферов. В приложении приведены необходимые справочные данные для проведения всех расчетов.

1. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

1.1. Общие положения

Для нормализации параметров микроклимата необходимо составление теплового баланса помещения, основанного на определении всех статей поступления и расхода тепла в помещении. При составлении теплового баланса производственных помещений решают две задачи:

1) определение максимума избытка теплоты в помещении для теплового периода года, на основе которого определяются производительность и технические параметры систем вентиляции или кондиционирования помещения;

2) определение наименьших избытков или наибольших недостатков теплоты для холодного периода года, служащих для расчета воздухообмена в этот период, а также для расчета нагрузок на воздухонагреватели и тепловые сети.

При составлении теплового баланса помещения учитывают *внутренние* и *наружные* тепловые нагрузки.

Внутренние тепловые нагрузки определяются теплотой, выделяемой от следующих источников теплоты в помещении:

- производственного оборудования;
- нагретых материалов и открытых водных поверхностей;
- от промышленных печей и продуктов сгорания;
- систем искусственного освещения;
- работающих людей.

Наружные тепловые нагрузки состоят:

- из поступлений теплоты от солнечной радиации через ограждения и световые проемы;
- поступлений или потерь теплоты через внешние и внутренние ограждения помещения;
- потерь теплоты на нагрев, попадающего в помещение наружного воздуха в холодный период года, или поступлений теплоты в помещение с наружным воздухом в теплый период.

К основным механизмам распространения теплоты в помещении относятся конвекция и излучение. Поступления теплоты при этом приводят к повышению температуры в помещении, поэтому они называются поступлениями явной теплоты. Если поступления теплоты в помещение происходят в результате процессов испарения, то это не приводит к изменению температуры воздуха, а лишь увеличивает его энтальпию, поэтому они называются поступлениями скрытого тепла.

1.2. Расчет внутренних тепловых нагрузок

Внутренние тепловые нагрузки определяются теплотой, выделяемой:

- производственным оборудованием;
- нагретыми материалами и открытыми водными поверхностями;
- продуктами сгорания;
- системами искусственного освещения;
- людьми.

1.2.1. Расчет теплопоступлений в рабочее помещение от нагретых поверхностей технологического оборудования

Теплоотдача от нагретой поверхности $Q_{\text{пов}}$, Вт, рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{пов}} = \alpha_{\text{пов}} (t_{\text{пов}} - t_{\text{в}}) F_{\text{пов}}, \quad (1.1)$$

где $t_{\text{пов}}$ и $t_{\text{в}}$ - соответственно температура нагретой поверхности и воздуха в помещении, °С; $F_{\text{пов}}$ - площадь этой поверхности, м²; $\alpha_{\text{пов}}$ - коэффициент теплоотдачи от поверхности к воздуху помещения, Вт/(м²·°С).

Коэффициент теплоотдачи для нагретой поверхности технологического оборудования $\alpha_{\text{пов}}$ состоит из лучистой $\alpha_{\text{л}}$ и конвективной $\alpha_{\text{к}}$ составляющих и может быть представлен в виде

$$\alpha_{\text{пов}} = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}} = C_{\text{и}} b + A \sqrt[3]{(t_{\text{пов}} - t_{\text{в}})}, \quad (1.2)$$

где $C_{\text{и}}$ - коэффициент излучения нагретой поверхности; для окисленных стальных поверхностей $C_{\text{и}} = 4,7$; b - температурный коэффициент; A - коэффициент, связанный с конвективным теплообменом. Коэффициенты b и A зависят от температуры нагретой поверхности $t_{\text{пов}}$, эта зависимость отражена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Значения коэффициентов b и A

$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	b	A	$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	b	A
20	1,01	1,67	380	4,87	1,41
80	1,36	1,6	480	6,92	1,36
180	2,3	1,53	580	9,43	1,33
280	3,3	1,47	980	25,5	1,19

В табл. 1.1 приведены значения коэффициента A для вертикальной нагретой поверхности. Для горизонтальной поверхности эти значения должны быть увеличены на 30 %.

Для открытой поверхности нагретой воды коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{пов}}$, Вт/(м²·°C) рассчитывается по формуле

$$\alpha_{\text{пов}} = 1,16 (4,9 + 3,5w), \quad (1.3)$$

где w - скорость движения воздуха над поверхностью воды, м/с.

1.2.2. Расчет теплоступлений от стенок промышленных печей

Расчет теплоступлений $Q_{\text{ст}}$, Вт, от стенок промышленных печей в рабочее помещение определяется по формуле

$$Q_{\text{ст}} = K_{\text{ст}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{в}}) F_{\text{ст}}, \quad (1.4)$$

где $t_{\text{пов}}$ и $t_{\text{в}}$ - соответственно температура внутренней поверхности печи и воздуха в помещении, °C; $t_{\text{вн}}$ - температура принимается на 5°С ниже температуры в самой печи, определяемой технологическими условиями; $F_{\text{ст}}$ - площадь стенок печи, м²; $K_{\text{ст}}$ - коэффициент теплопередачи от внутренней поверхности печи к помещению, Вт/(м²·°C).

Значение коэффициента теплопередачи $K_{\text{ст}}$ определяется по формуле

$$K_{\text{ст}} = 1 / (R_{\text{T}} + R_{\text{ст}}), \quad (1.5)$$

где R_{T} - термическое сопротивление теплоотдачи; $R_{\text{T}} = 1 / \alpha_{\text{пов}}$; $R_{\text{ст}}$ - термическое сопротивление стенки.

Для многослойной стенки термическое сопротивление $R_{\text{ст}}$, м²·C/Вт, рассчитывается

$$R_{\text{ст}} = \sum \delta_i / \lambda_i, \quad (1.6)$$

где δ_i - толщина i -го слоя стенки с коэффициентом теплопроводности материала λ_i

Значения коэффициента теплопроводности наиболее распространенных огнеупорных материалов приведены в табл. 1.2 [1], в которой введено обозначение $B = 10^{-4} \cdot t_{\text{м}}$, где $t_{\text{м}}$ - температура материала, °C.

При известном значении температуры наружной поверхности стенки печи $t_{\text{н}}$ ее тепловыделение может быть найдено с помощью табл. 1.3 [1].

Таблица 1.2

Характеристики некоторых огнеупорных материалов

Материалы	Плотность, ρ , кг/м ³	Коэффициент теп- лопроводности λ , Вт/(м · °С)	Теплостойкость t_{\max} , °С
Кирпичи:			
динасовые	1950	1,01 +6,8В	1700
шамотные	1900	0,87+6,4В	1350
диатомитовые	600	0,16+1,5В	900
Минеральная вата	180	0,05...0,06	600

Таблица 1.3

Теплопоступления от стенок печи в зависимости от расположения и температуры поверхности излучения

Температура поверхности печи, °С	Плотность теплового потока g , Вт/ м ²		
	Поверхность расположена вертикально	Поверхность обращена вверх	Поверхность обращена вниз
40	212	217	207
60	487	499	476
80	807	826	786
100	1170	1198	1142
120	1575	1610	1538
140	2025	2072	1980

Особенность использования для расчета формулы (1.6) состоит в том, что входящий туда коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{пов}}$ зависит, как отмечалось ранее, от температуры внешней поверхности стенки, которая в данном случае пока неизвестна. Такая задача решается методом последовательных приближений. Сначала задаются начальным значением коэффициента теплоотдачи $\alpha_{\text{пов}}$ (обычно 10-20) и определяют для выбранного значения $\alpha_{\text{пов}}$ температуру внешней поверхности стенки $t_{\text{пов}}$, используя при этом формулы (1.4) и (1.1). Далее, используя формулу (1.2), корректируют значение $\alpha_{\text{пов}}$, а затем с помощью формул (1.4) и (1.5) определяют искоемые теплопоступления от стенок печи. Обычно одной корректировки бывает достаточно.

1.2.3. Теплопоступления от продуктов сгорания через неплотности или открытые проемы печей

Количество теплоты $Q_{сг}$, кДж/ч, поступающей в помещение с продуктами сгорания различных веществ через неплотности или открытые проемы печи определяются по формуле

$$Q_{сг} = G_{г} Q_{у} \eta_{т}, \quad (1.7)$$

где $G_{г}$ - количество поступающих в помещение газов, кг/ч, ориентировочно составляющее 5-7% общего количества продуктов сгорания; $Q_{у}$ - удельная теплота сгорания, кДж/кг; $\eta_{т}$ - коэффициент, учитывающий неполноту сгорания топлива и равный 0,9 - 0,97.

Удельную теплоту сжигания некоторых горючих веществ можно определить по табл. 1.4 [1].

Таблица 1.4

Количество теплоты и влаги, выделяющихся при сгорании 1 кг горючих веществ

Горючее вещество	Теплота, кДж	Влага, кг
Ацетилен	47766	0,7
Бензин	42738	1,4
Водород	120253	9,0
Метан	49400	2,3

1.2.4. Расчет теплопоступлений в рабочее помещение от остывающих изделий

При остывании нагретых изделий и материалов теплота $Q_{ост}$, кДж/ч, за счет убывания разности температур выделяется неравномерно и определяется по формуле

$$Q_{ост} = mcB(t_{н} - t_{в}), \quad (1.8)$$

где m - масса остывающего изделия, кг; c - удельная теплоемкость материала, кДж/(кг·°С); $t_{н}$ - начальная температура материала, °С; $t_{в}$ - температура воздуха, °С; B - коэффициент, определяющий изменение интенсивности тепловыделения изделием за не который промежуток времени, 1/ч.

Обычно интересуется интенсивность теплопоступлений за первый и последующие часы остывания. Для металлических изделий значения B приведены в табл. 1.5 [1].

Таблица 1.5

Значения коэффициента B при остывании чугунного литья

Масса отливки, кг	Распределение тепловыделений		
	1 - й час	2 - й час	3 - й час
До 200	0,75	0,15	0,1
200...1000	0,55	0,3	0,15
Более 1000	0,4	0,35	0,25

1.2.5. Расчет теплопоступлений в рабочее помещение от электродвигателей, станков и механизмов

Общее теплопоступления от электродвигателей и приводимого ими в действие оборудования, определяются по формуле

$$Q_{эл} = N_y k_{исп} k_{загр} k_{одн} (1 - \eta + k_t \eta), \quad (1.9)$$

где N_y - установочная мощность электродвигателя, Вт; $k_{исп}$ - коэффициент использования установочной мощности (0,7...0,9); $k_{загр}$ - коэффициент загрузки (0,5...0,8); $k_{одн}$ - коэффициент одновременности работы электродвигателей (0,5...1); η - коэффициент полезного действия электродвигателей, определяемый по каталогу (0,75...0,92); k_t - коэффициент перехода механической энергии в тепловую (0,1...1), учитывающий что часть теплоты может быть отдана охлаждающей эмульсии, перекачиваемой воде или воздуху и унесена за пределы помещения.

Справочные данные по техническим характеристикам асинхронных электродвигателей приведены в табл. 1.6 [2].

Таблица 1.6

Технические характеристики асинхронных электродвигателей

Тип двигателя	N_y , кВт	$K_{исп}$	$\eta\%$	Масса, кг
АИ Р180М2	30	0,9	91,5	180
РА 80А2	0,75	0,83	74	9
4А 100L6У3	2,2	0,73	81,0	-
5А 80 М А2	1,5	0,84	81,5	14
РА 71А2	0,37	0,81	71	5
4А 80 В2У3	2,2	0,87	83	-
5А М2550S8	37	0,75	92	430
АИ Р160S2	15	0,89	90	100
РА 100 L2	3,0	0,86	83	3
4А 80 А4У3	1,1	0,81	75	
5А 80МВ8	0,55	0,64	61	16
АИ Р200S2	45	0,88	92	240

1.2.6. Расчет теплоступлений в рабочее помещение от тепловыделения людей

В общем энергетическом балансе человека две составляющие определяют теплоступления в помещение: явная лучисто-конвективная теплота $Q_{ял}$, Вт, и скрытая теплота влаги, испаряющейся с поверхности тела и легких человека $Q_{сл}$, Вт. При расчете вентиляции особенно важно правильно определять отдачу явной теплоты. Ее можно подсчитать в Вт по формуле

$$Q_{ял} = \beta_{и}\beta_{од} (2,5 + 10,3\sqrt{w})(35 - t_{п}), \quad (1.10)$$

где $\beta_{и}$ - коэффициент, учитывающий интенсивность работы и равный:

- 1 для легкой работы,
- 1,07 - для работы средней тяжести
- 1,15 - для тяжелой работы;
- $\beta_{од}$ - коэффициент, учитывающий теплозащитные свойства одежды и равный:
- 1 - для легкой одежды;
- 0,65 - для обычной;
- 0,4 - для утепленной одежды;

w - скорость движения воздуха в помещении, м/с;

$t_{п}$ - температура помещения, °С.

1.2.7. Расчет теплоступлений в рабочее помещение от искусственного освещения

Принято считать, что вся электрическая энергия, затрачиваемая на освещение, переходит в тепловую.

Тепловыделения от освещения $Q_{осв}$, Вт, рассчитываются по формуле

$$Q_{осв} = N_{осв}\eta_{осв}, \quad (1.11)$$

где $N_{осв}$ - суммарная мощность источников света, Вт; $\eta_{осв}$ - доля попадающей в помещение тепловой энергии от энергии, потребляемой источниками света. Для ламп накаливания $\eta_{осв} = 0,92-0,97$, для люминисцентных ламп $\eta_{осв} = 0,5-0,6$.

Тепловыделения от искусственного освещения, $Q_{осв}$ Вт, могут быть определены также по формуле

$$Q_{осв} = EFq_{осв}\eta_{осв}, \quad (1.12)$$

где E - освещенность, определяемая исходя из нормативных требований, лк; F - площадь помещения, м²; $Q_{\text{осв}}$ - удельное выделение теплоты, Вт/(лк·м²), составляющее от 0,05...0,13 для люминесцентных ламп и 0,13...0,25 для ламп накаливания; $\eta_{\text{осв}}$ - доля попадающей в помещение тепловой энергии от энергии, потребляемой источником света. Когда лампы изолированы от помещения, например, остекленной перегородкой, то в него попадает только часть теплоты, определяемой по формулам (1.11) и (1.12). Это можно учесть введением в правые части этих формул дополнительного множителя $\eta_{\text{пер}}$. Для люминесцентных ламп $\eta_{\text{пер}} = 0,45$, а для ламп накаливания $\eta_{\text{пер}} = 0,15$.

При составлении теплового баланса следует учитывать, что освещение действует только часть суток и тепlopоступления от него часто не должно суммироваться с тепlopоступлением от солнечной радиации.

1.3. Расчет наружных тепловых нагрузок

Наружные тепловые нагрузки состоят:

- из поступлений теплоты от солнечной радиации через ограждения и световые проемы;
- поступлений или потерь теплоты через внешние и внутренние ограждения помещения;
- потерь теплоты на нагрев попадающего в помещение наружного воздуха в холодный период года, или поступлений теплоты в помещение с наружным воздухом в теплый период.

1.3.1. Расчет потерь теплоты в наружных и внутренних ограждениях помещения

В зависимости от соотношения температур наружного воздуха и воздуха в помещении передача теплоты через ограждения помещения будет являться тепlopотерями или тепlopоступлениями. В холодный период года мы имеем дело с тепlopотерями. В это время колебания температуры в течении суток не очень значительны, так что соответствующие процессы теплообмена можно рассматривать как стационарные. Если в помещении имеются значительные избытки теплоты, то даже в теплый период года мы будем иметь дело с тепlopотерями. Но обычно процесс передачи теплоты через наружные ограждения помещения в теплый период года является тепlopоступлениями в помещение.

Основные потери теплоты следует определять, суммируя потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции, $Q_{\text{отр}}$, Вт, по формуле

$$Q_{\text{огр}} = KF_{\text{огр}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})(1 + \beta), \quad (1.13)$$

где K – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С), являющийся обратной величиной ее термического сопротивления R , $K = 1/R$; $t_{\text{в}}$ – расчетная температура воздуха внутри помещения, °С; $t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года при расчете потерь теплоты через наружные ограждения или температура воздуха более холодного соседнего помещения – при расчете потерь через внутренние ограждения, °С; β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь. Значение β для наружных ограждающих конструкций (стены, двери, окна), обращенных на север, восток, северо-восток и северо-запад принимается равным 0,1, а обращенных на юго-восток и запад – 0,05.

Значения коэффициента теплопередачи K заполненных световых проемов (окон, фонарей и дверей) приведены в табл. 1.7 [1].

Таблица 1.7

Значения коэффициента теплопередачи (K) заполненных световых проемов

Конструкция и тип проема	Коэффициент теплопередачи K , Вт/(м ² ·°С)
Окна:	
- одинарное остекление	5,8
- двойное остекление	2,8
- однокамерный стеклопакет	3,3
- двухкамерный стеклопакет	2,0
Наружные двери деревянные:	
- одинарные	4,7
- двойные	2,3

Термическое сопротивление многослойных ограждений вычисляют по формуле

$$R = R_{\text{в}} + \sum R + R_{\text{н}}, \quad (1.14)$$

где $R_{\text{в}}$ и $R_{\text{н}}$ – термические сопротивления теплоотдачи у внутренней и наружной поверхностей ограждений; для наружных ограждений можно принять $R_{\text{в}} = 0,114$ м²·°С/Вт и $R_{\text{н}} = 0,043$ м²·°С/Вт; $\sum R$ – сумма термических сопротивлений n - отдельных слоев ограждения, каждое из которых определяется физическими характеристиками материала слоя и вычисляется с помощью формулы (1.5).

Физические характеристики некоторых строительных материалов представлены в табл. 1.8 [1].

Таблица 1.8

Физические характеристики строительных материалов

Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С)
Железобетон	2500	1,50
Бетон на гравии или щебне	2400	1,34
Перлитобетон	1200	0,38
Керамзитобетон	1400	0,55
Кирпичная кладка	1800	0,75
Сосна и ель поперек волокна	550	0,16

За расчетную температуру воздуха внутри помещения t_v при расчете теплопередачи через ограждения принимают:

а) для ограждений высотой 2 м от пола и полов - температуру воздуха в рабочей зоне t_{pz} ;

б) перекрытий - температуру воздуха под перекрытием $t_{вз}$;

в) стен - среднюю температуру $(t_{вз} + t_{pz}) / 2$.

Температура воздуха верхней зоны $t_{вз} = t_{pz} + 3^\circ\text{C}$.

В качестве расчетных параметров наружного воздуха используются параметры А и параметры Б. Эти параметры определяются следующим образом.

Для холодного периода года:

- параметры А - средняя температура наиболее холодного периода и энтальпия (теплосодержание) воздуха, соответствующая этой температуре и средней относительной влажности воздуха самого холодного месяца в 13 ч;

- параметры Б - средняя температура наиболее холодной пятидневки и энтальпия (теплосодержание) воздуха, соответствующая этой температуре и средней относительной влажности воздуха самого холодного месяца в 13 ч.

Для теплого периода года:

- параметры А - температура и энтальпия воздуха, соответствующая средней температуре и средней влажности воздуха самого жаркого месяца в 13 ч;

- параметры Б - средняя температура и энтальпия воздуха, соответствующая максимальной летней температуре.

Значения параметров А и Б для пунктов Нижегородской области приведены в Территориальных строительных нормах ТСН 23-301-97 [3].

1.3.2. Расчет поступления теплоты через остекленные поверхности

Теплопоступления в помещение через световые проемы определяются двумя факторами: солнечной радиацией и теплопередачей.

В первом приближении теплопоступлениями, обусловленными теплопередачей, можно пренебречь. Тогда количество теплоты $Q_{пр}$, Вт, поступающей в помещение через световой проем, может быть вычислено по формуле

$$Q_{пр} = (k_{п}q_{п} + k_{р}q_{р})k_{т}k_{0}F_{пр}, \quad (1.15)$$

где $q_{п}$ и $q_{р}$ - количество теплоты соответственно от прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей в помещение через 1 м^2 обычного одинарного остекления световых проемов, принимаемое по табл. 1.9; $k_{п}$ и $k_{р}$ - коэффициенты, показывающие, какая часть площади светового проема подвержена, при наличии наружных солнцезащитных конструкций, соответственно прямой и рассеянной солнечной радиации; $k_{т}$ - коэффициент, учитывающий затенение светового проема переплетами, принимаемый по табл. 1.10; k_{0} - коэффициент относительного проникания солнечной радиации через остекление светового проема, отличающееся от обычного, и с солнцезащитными устройствами, принимаемый по табл. 1.11; $F_{пр}$ - площадь светового проема, м^2 [1].

Таблица 1.9

Количество теплоты, Вт/м², поступающей от прямой и рассеянной солнечной радиации в июле на 56° северной широты (г. Москва)

Солнечное время, ч		Стороны света до 12 ч							
		C	CB	B	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
до 12 ч	после 12 ч	Стороны света после 12 ч							
		C	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	B	CB
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5-6	18-19	103 (56)	344 (74)	433 (74)	140 (57)	- (35)	- (28)	- (30)	- (30)
6-7	17-18	17 (66)	401 (93)	523 (115)	287 (90)	- (58)	- (42)	- (43)	- (44)
7-8	16-17	- (65)	339 (98)	547 (122)	424 (105)	22 (74)	- (53)	- (48)	- (53)
8-9	15-16	- (62)	174 (87)	504 (114)	479 (108)	128 (85)	- (64)	- (55)	- (56)
9-10	14-15	- (58)	26 (71)	378 (91)	479 (102)	245 (88)	- (67)	- (56)	- (57)
10-11	13-14	- (57)	- (62)	193 (78)	427 (92)	347 (91)	21(72)	21 (58)	21 (58)
11-12	12-13	- (55)	- (59)	37 (67)	330 (79)	398 (92)	176 (76)	- (63)	- (58)

Примечание: в скобках указано количество теплоты от рассеянной радиации.

Таблица 1.10

Значения коэффициента k_T

Заполнение светового проема	Коэффициент k_T
Одинарное остекление в деревянных переплетах	0,75
Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах	0,7
То же, в металлических	0,9
Двойное остекление с отдельными переплетами	0,6
Органическое стекло	0,9

Таблица 1.11

Значения коэффициента k_0

Солнцезащитные устройства	Коэффициент k_0
Без солнцезащитных устройств при двойном остеклении с толщиной стекла, мм:	
2,5-3,5	0,9
4-6	0,8
Внутренние шторы из тонкой ткани или жалюзи	0,6
Жалюзи между стеклами	0,35
Наружные жалюзи	0,13

1.3.3. Инфильтрация воздуха

Инфильтрация, или проникновение наружного воздуха под действием ветрового напора и разности температур снаружи и внутри помещения через неплотности наружных ограждающих конструкций, является фактором, которым нельзя пренебрегать, особенно для окон и дверей, расположенных с подветренной стороны. Массовый расход воздуха $G_{и}$, кг/ч, проникающего через щели определяется по формуле

$$G_{и} = \sum (a_i m_i l_i), \quad (1.16)$$

где a_i - коэффициент, значения которого в зависимости от характера щели представлены в табл.12; m_i - удельный расход воздуха, проникающего через один погонный метр длины щели, кг/(ч·м); его значения в зависимости от скорости ветра приведены в табл. 1.13; l_i - длина щели, м; n - число щелей.

Таблица 1.12

Значения коэффициента a

Характер притвора	Коэффициент a
Фрамуги окон и дверей:	
- с одинаковыми деревянными переплетами	1,0
- с двойными деревянными переплетами	0,5
- с одинарными металлическими переплетами	0,65
- с двойными металлическими переплетами	0,33
Двери и ворота	2,0

Таблица 1.13

Удельное количество инфильтруемого воздуха m , кг/(ч·м)

Характер притвора	Скорость ветра, м/с							
	до 1	2	3	4	5	6	9	11
Деревянные переплеты с шириной щели 1,5 мм	4,33	7,03	8,66	9,74	13,54	-	-	-
Металлические двери:								
с уплотнением	-	2,5	-	3,3	-	5,3	7,2	9,5
без уплотнения	-	5,0	-	6,7	-	10,0	14,5	18,4

Расход теплоты Q_i , Вт, на подогрев воздуха, поступающего в помещение за счет инфильтрации, определяется по формуле

$$Q_{\text{и}} = 0,28G_{\text{и}}c_{\text{в}}(t_{\text{п}} - t_{\text{н}})k, \quad (1.17)$$

где $c_{\text{в}}$ - удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С); $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{н}}$ - расчетные температуры, °С, соответственно в помещении и наружного воздуха; k - коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный: 0,7 - для стыков панелей стен и для окон с тройными переплетами, и 0,8 - для окон с отдельными переплетами, и 1,0 - для одинарных окон, окон со спаренными переплетами и открытых проемов.

1.4. Составление теплового баланса производственных помещений

Определяются суммарные тепlopоступления $Q_{\text{пост}}$ - это сумма всех поступлений тепла в помещение. Аналогично определяются и суммарные тепlopотери в помещении $Q_{\text{пот}}$. В большинстве случаев при расчетах теплового баланса исходят из того, что в помещении соблюдается условие теплового равновесия. На основании этого полагают, что разность поступления $Q_{\text{пост}}$ и потерь $Q_{\text{пот}}$ теплоты в помещении, определяющая теплоизбытки ΔQ , не изменяются во времени. При этом уравнение теплового баланса записывается в виде

$$\Delta Q = Q_{\text{пост}} - Q_{\text{пот}}. \quad (1.18)$$

Обычно достаточно составления теплового баланса по явной теплоте, но в помещениях с активным влагообразованием необходимо составление баланса по полной теплоте, с учетом скрытой теплоты, поступающей в помещение вместе с водяными парами.

1.5. Определение избытков теплоты или теплоизбытков в производственных помещениях

Избыточной теплотой или теплоизбытками ΔQ называется разность суммарных теплопоступлений и теплопотерь помещения. В соответствии с видом теплопоступлений различают избытки явной $\Delta Q_{я}$, и полной (явной и скрытой) $\Delta Q_{п}$, теплоты.

От теплоизбытков зависят и расчетные параметры микроклимата в помещении. При этом вводят в рассмотрение удельные избытки явной теплоты Δq , Вт/м³, определяемые как отношение теплоизбытков в помещении к его объему.

Избытки теплоты в помещении считаются незначительными, если $\Delta q \leq 23$ Вт/м³, в противном случае говорят о помещении со значительными избытками теплоты.

Если в помещении теплопоступления меньше теплопотерь, т.е. $\Delta Q < 0$, то разность этих величин определяется как теплонедостатки, и это приводит к необходимости использования в данном помещении системы отопления.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ И РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

2.1. Нормирование параметров воздушной среды в помещениях

Параметры воздушной среды в помещениях, влияющие на самочувствие и здоровье людей, определяются микроклиматом и наличием в ее составе вредных веществ. Нормативные значения всех параметров воздушной среды в производственных помещениях установлены ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». В воздухе рабочей зоны производственных помещений гигиеническое нормирование параметров микроклимата и содержания вредных веществ осуществляется отдельно согласно санитарным нормам СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» и СП 2.1.3684-21 «Санитарно - эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно - противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

Рабочей зоной считается пространство высотой 2 м от уровня пола или площадки, в котором находятся места постоянного или непостоянного пребывания рабочих. Постоянным считается рабочее место, на котором работающий находится большую часть (более 50 % или более 2 ч непрерывно) своего рабочего времени.

Параметры микроклимата в жилых, общественных и административно-бытовых помещениях определяются. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

Гигиеническими нормами регламентируются следующие параметры микроклимата в рабочей зоне производственных помещений: температура, относительная влажность и скорость движения воздуха, а также температура поверхностей окружающих тело человека конструкций и предметов (стены, полы и потолки помещения, производственное оборудование, предметы труда и т. п.). Нормирование осуществляется с учетом времени года и интенсивности производимой человеком работы. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 холодный период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха + 10 °С и ниже, теплый период года - среднесуточной температурой выше + 10°С. Иногда рассматривают также переходной период, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха + 10 °С.

Исходя из общих энергозатрат организма при учете интенсивности труда все виды работ разделяют на три категории:

- легкие I-а и I-б с энергозатратами соответственно до 140 Вт и 140 - 174 Вт (работа контролеров, работы точного приборостроения, офисные работы и т. п.);

- средней тяжести II-а и II-б с энергозатратами соответственно 175 - 232 Вт и 233 - 290 Вт (работы в механосборочных цехах, текстильном производстве, при обработке древесины и т. п., связанные с постоянным передвижением и переносом тяжестей до 10 кг);

- тяжелые III с энергозатратами свыше 290 Вт (работы, связанные с систематическим физическим напряжением, с переносом тяжестей свыше 10 кг в кузнечных, литейных цехах с ручными процессами и т. п.).

Для рабочей зоны производственного помещения согласно действующим нормативным документам устанавливаются оптимальные и допустимые параметры микроклимата. Оптимальные (рекомендуемые) параметры представляют собой наиболее благоприятные условия для наилучшего самочувствия человека (критерий комфорта) или для правильного протекания различных технологических процессов (технологический критерий).

Оптимальные параметры микроклимата по критерию технологичности регламентируются отраслевыми документами. Так, для цехов точного машиностроения оптимальная температура составляет $20 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, а оптимальная относительная влажность - 45...50 %.

Оптимальные параметры микроклимата по критерию комфорта (табл. 2.1) обеспечивают состояние теплового баланса при взаимодействии человека с окружающей средой, не вызывают напряжений в работе системы терморегуляции организма и создают предпосылки для высокого уровня работоспособности. Такие параметры, например, необходимо соблюдать в производственных помещениях, где выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управлений технологическими процессами, в залах вычислительной техники) [5].

Оптимальные параметры микроклимата обеспечиваются, как правило, системами кондиционирования воздуха.

Допустимые (обязательные) параметры микроклимата устанавливаются в тех случаях, когда по техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные условия. Допустимые параметры микроклимата устанавливаются для 8-часовой рабочей смены при условиях, что они не должны вызывать нарушений состояния здоровья человека, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности (табл. 2.2) [1].

Таблица 2.1

**Оптимальные значения параметров микроклимата на рабочих местах
производственных помещений по СанПиН 1.2.3685-21**

Параметр	Категория работ				
	Ia	Iб	IIa	IIб	III
Температура воздуха, °С: для холодного периода года	22-24	21-23	19-21	17-19	16-18
для теплого периода года	23-25	22-24	20-22	19-21	18-20
Скорость движения воз- духа, м/с, не более	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Относительная влаж- ность воздуха, %	40-60				

Оптимальные параметры микроклимата обеспечиваются, как правило, системами кондиционирования воздуха.

Допустимые (обязательные) параметры микроклимата устанавливаются в тех случаях, когда по техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные условия. Допустимые параметры микроклимата устанавливаются для 8-часовой рабочей смены при условиях, что они не должны вызывать нарушений состояния здоровья человека, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности (табл. 2.2) [5].

Таблица 2.2

**Допустимые значения параметров микроклимата на рабочих местах
производственных помещений по СанПиН 1.2.3685-21**

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		ниже оптимальных величин	выше оптимальных величин		ниже оптимальных величин	выше оптимальных величин
Холодный	Ia	20,0-21,9	24,1-25,0	15-75	0,1	0,1
	Iб	19,0-20,9	23,1-24,0	15-75	0,1	0,2
	IIa	17,0-18,9	21,1-23,0	15-75	0,1	0,3
	IIб	15,0-16,9	19,1-22,0	15-75	0,2	0,4
	III	13,0-15,9	18,1-21,0	15-75	0,2	0,4
Теплый	Ia	21,0-22,9	25,1-28,0	15-75	0,1	0,2
	Iб	20,0-21,9	24,1-28,0	15-75	0,1	0,3
	IIa	18,0-19,9	22,1-27,0	15-75	0,1	0,4
	IIб	16,0-18,9	21,1-27,0	15-75	0,2	0,5
	III	15,0-17,9	20,1-26,0	15-75	0,2	0,5

При температуре воздуха на рабочих местах $t_{в} > 25$ °С относительная влажность воздуха не должна выходить за пределы: 70 % - при $t_{в} = 25$ °С; 65 % - при $t_{в} = 26$ °С; 60 % - при $t_{в} = 27$ °С; 55 % - при $t_{в} = 28$ °С.

При температуре воздуха, выходящей за допустимые пределы, время пребывания на рабочих местах должно быть ограничено так, чтобы среднесменная температура воздуха, соответствующая нахождению работающих на рабочих местах и в местах отдыха, не выходила за пределы допустимых норм, указанных в табл. 2.2.

Среднесменную температуру воздуха $t_{в}$ рассчитывают по формуле

$$t_{в} = (t_1\tau_1 + t_2\tau_2 + \dots + t_n\tau_n)/8, \quad (2.1)$$

где n - число мест работы и отдыха за смену; t_n и τ_n - соответственно температура воздуха, °С, и время пребывания, ч, на местах работы или отдыха; 8 - продолжительность рабочей смены, ч.

2.2. Гигиеническое нормирование содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны

При современном уровне развития производства требование полного отсутствия содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны является часто нереальным, требующим неоправданно больших материальных затрат. В связи с этим особую значимость приобретает гигиеническая регламентация содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны в соответствии со следующими нормативными документами:

- ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;

- СП 2.1.3684-21 «Санитарно - эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно - противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

Вредными являются вещества, которые при контакте с организмом человека могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые как в период работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего или последующих поколений. Выделяющиеся на производстве вредные газы и пары образуют с воздухом газо- и паровоздушные смеси, а жидкие и твердые частицы - аэрозоли. Аэрозоли называют туманами, если они образованы каплями жидкости, и пылями, если они образованы твердыми частицами.

Основным нормирующим показателем содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны являются их предельно допустимые концентрации (ПДК). ПДК - это максимальное содержание вредного вещества, выраженное в миллиграммах, в одном кубическом метре воздуха, которое при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю в течение всего рабочего стажа, не может вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы или отдаленные сроки жизни настоящего или последующих поколений.

Вредные вещества по степени опасности разделены на четыре класса:

- 1-й - чрезвычайно опасные вещества с ПДК < 0,1 мг/м³;
- 2-й - высокоопасные вещества с ПДК = 0,1... 1,0 мг/ м³;
- 3-й - умеренно опасные с ПДК = 1,0... 10,0 мг/ м³;
- 4-й - малоопасные с ПДК > 10,0 мг/ м³.

По характеру воздействия на организм человека вредные вещества подразделяют на общетоксические, вызывающие отравление всего организма или поражающие отдельные его органы (свинец, ртуть, мышьяк, бензол, толуол и др.); раздражающие, вызывающие раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, глаз, кожи (кислоты, щелочь, хлор-, фтор-, серо- и азотсодержащие соединения); сенсibiliзирующие, действующие как аллергены (платина, альдегиды, различные растворители, лаки на основе нитросоединений и др.); канцерогенные, вызывающие злокачественные опухоли (мазут, гудрон, битум, хром, никель, асбест и др.); мутагенные, приводящие к генетическим изменениям (свинец, марганец, формальдегид, радиоактивные изотопы); влияющие на репродуктивную (детородную) функцию (ртуть и ее соединения, свинец, стирол, бензол, сероуглерод, радиоактивные изотопы). Вредные вещества, которые влияют на одни и те же системы организма, называют однонаправленными. В противном случае вредные вещества являются разнонаправленными. Эта особенность имеет важное значение для оценки совместного воздействия вредных веществ на организм человека. При действии однонаправленных веществ их концентрации должны удовлетворять условию

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1, \quad (2.2)$$

где q_i - концентрация i -го вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м³; ПДК - предельно допустимая концентрация этого вещества, мг/м³; n - число веществ.

Для разнонаправленных веществ это условие упрощается и сводится к тому случаю, когда бы они действовали отдельно

$$q_i \leq \text{ПДК}_i. \quad (2.3)$$

В соответствии с санитарными нормами все производственные помещения должны вентилироваться. Количество воздуха, необходимое для вентиляции производственного помещения, называется вентиляционным воздухообменом (L , м³/ч).

2.3. Системы вентиляции в производственных помещениях

Обеспечение нормируемых параметров микроклимата и чистоты воздуха на рабочих местах в значительной степени зависит от правильной организации системы вентиляции

По способу перемещения воздуха различают естественную и механическую вентиляцию; по способу подачи и удаления воздуха - приточную, вытяжную и приточно-вытяжную; по месту действия - общеобменную, местную (локальную) и комбинированную.

Во всех рабочих помещениях должна быть предусмотрена естественная вентиляция. Естественная вентиляция значительно дешевле механической, так как большие объемы воздуха подаются в помещение и удаляются из него без применения вентиляторов и воздуховодов.

Механическая вентиляция по сравнению с естественной имеет ряд преимуществ, а именно, возможность:

- подвергать необходимой обработке как вводимый в помещение воздух (очищать, нагревать или охлаждать, увлажнять или подсушивать), так и удаляемый из него (очищать);
- сохранять необходимый воздухообмен независимо от внешних метеорологических условий;
- организовывать оптимальное воздухораспределение с подачей воздуха непосредственно к рабочим местам;
- улавливать вредные выделения непосредственно в местах их образования, предотвращая их распространение по всему объему помещения.

К недостаткам механической вентиляции относятся значительные затраты энергии и необходимость проведения мероприятий по борьбе с шумом.

Системы механической вентиляции разделяются на общеобменные, местные и комбинированные.

Общеобменная вентиляция предназначена для удаления избытков теплоты, влаги и вредных веществ во всем объеме помещения. Применяется в тех случаях, когда вредные выделения поступают непосредственно в воздух помещения и рабочие места не фиксированы, а располагаются по всему помещению.

Местная (локальная) вентиляция используется для обеспечения допустимых условий в отдельных рабочих зонах, удаляя вредные выделения непосредственно у источника их образования.

При комбинированной системе вентиляции часть вредных выделений удаляется местной вентиляцией, а часть - общеобменной.

Помимо этого используются аварийные системы вентиляции, которые включаются в экстренных ситуациях при внезапном образовании в помещении большого количества вредных и взрывоопасных веществ, превышающего ПДК, или при остановке одной из систем общей или местной вентиляции. Производительность аварийной вентиляции определяется согласно требованиям нормативных документов, а при отсутствии таковых она устанавливается такой, чтобы вместе с основной вентиляцией обеспечивалось в помещении не менее восьми воздухообменов за 1 час.

Общеобменная вентиляция по способу подачи и удаления воздуха разделяется на приточную, вытяжную и приточно-вытяжную.

Количество воздуха L_p , подаваемого в помещение при общеобменной вентиляции, не всегда равно количеству воздуха L_v , вытягиваемого из помещения. Отношение количества подаваемого воздуха к количеству удаляемого называется вентиляционным воздушным балансом.

При равенстве притока и вытяжки баланс считается уравновешенным, при превышении притока над вытяжкой - положительным, в противоположном случае - отрицательным.

Характер воздушного баланса имеет важное санитарно-гигиеническое значение. Так, при отрицательном балансе воздух из вентилируемого помещения со значительными выделениями вредных веществ не перетекает в помещение с меньшими выделениями, или в помещение, где этих выделений вообще нет.

Положительный баланс дает возможность практически полностью изолировать помещение от проникновения в него производственных вредностей. Такую вентиляцию используют, например, в тамбур-шлюзах, отделяющих взрывоопасные производства от невзрывоопасных.

В приточной системе вентиляции в помещении создается избыточное давление, за счет которого воздух уходит через окна и двери наружу, или в другие помещения. Приточная система применяется в случае, когда в вентилируемое помещение нежелательно попадание загрязненного воздуха из соседних помещений, что важно, например, в электронной промышленности, где большое значение имеет отсутствие пыли. Приточная система также возмещает воздух, удаляемый местными отсосами или расходуемый на технологические нужды. Она состоит обычно из следующих элементов: воздухозаборного устройства для забора наружного воздуха, воздуховодов, фильтров для очистки воздуха, калориферов, которыми подогревается холодный наружный воздух, вентилятора, увлажнителя-

осушителя воздуха и приточных воздухо-распределителей (решетки, панели, насадки). Удаление воздуха из помещения происходит за счет естественной вентиляции через двери, окна и щели.

При удалении воздуха вытяжной системой вентиляции в помещении создается пониженное давление и в вентилируемое помещение поступает воздух соседних помещений или наружный воздух. Такую систему можно применять в случае, если вредные выделения в данном помещении не должны распространяться на соседние, например, для вредных цехов и лабораторий химического и биологического профиля. В состав вытяжной вентиляции, как правило, входят: вытяжные воздухораспределители (решетки), через которые воздух удаляется из помещения, воздуховоды, вентиляторы, устройства для очистки воздуха от загрязнений и устройства для выброса воздуха в атмосферу.

В системе приточно-вытяжной вентиляции работают одновременно приточная и вытяжная системы. В таких системах для сокращения расходов на нагревание воздуха используют его частичную рециркуляцию. Свежая порция воздуха при этом составляет 10 ... 20% общего количества подаваемого воздуха. Рециркуляция допускается только для помещений с отсутствием выделений вредных веществ, или резких неприятных запахов. В подаваемом в помещение воздухе допускается содержание вредных веществ с концентрацией, не превышающей 30% ПДК.

Циркуляция воздуха в помещении и эффективность удаления вредных выделений будут зависеть от количества и приточных, и вытяжных отверстий и их взаимного расположения. Наиболее равномерное распределение воздуха обеспечивается при равномерном распределении притока по ширине помещения и сосредоточенной вытяжке.

В производственных зданиях наиболее распространена приточно-вытяжная общеобменная вентиляция, при которой воздух подается в помещение приточной системой, а удаляется вытяжной; системы работают одновременно (рис. 2.1).

Приточные вентиляционные системы обычно состоят:

- из воздухозаборных устройств, устанавливаемых снаружи здания в тех местах, где воздух наименее загрязнен;
- устройств, предназначенных для придания воздуху необходимых качеств (фильтры, калориферы);
- воздуховодов для перемещения воздуха к месту назначения;
- возбудителей движения воздуха - вентиляторов или эжекторов;
- воздухораспределительных устройств (патрубков, насадок), обеспечивающих подачу воздуха в нужное место с заданной скоростью и в требуемом количестве.

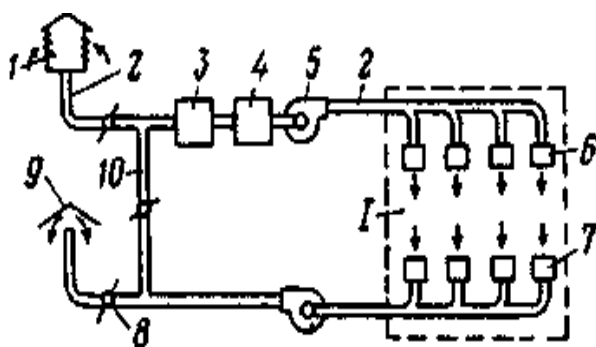


Рис. 2.1. Схема приточно-вытяжной механической вентиляции:

1 – воздухоприемник; 2 – воздуховоды; 3 – фильтр; 4 – калорифер; 5 – центробежный вентилятор; 6 – приточные отверстия; 7 – вытяжные отверстия; 8 – регулировочный клапан; 9 – устройство для выброса воздуха; 10 – воздуховод для рециркуляции; I – защищаемое помещение

Вытяжные вентиляционные системы состоят из вытяжных отверстий, через которые воздух удаляется из помещения, побудителя движения, воздуховодов, устройств для очистки воздуха от пыли или газов, устанавливаемых для защиты атмосферы, и устройства для выброса воздуха, которое располагается на 1... 1,5 м выше конька крыши.

В отдельных случаях для сокращения эксплуатационных расходов на нагревание воздуха применяют системы вентиляции с частичной циркуляцией. В них к поступающему снаружи воздуху подмешивают воздух, всасываемый из помещения вытяжной системой. Свежая порция воздуха в таких системах обычно составляет 20... 10% общего количества подаваемого воздуха. Количество свежего, вторичного и выбрасываемого воздуха регулируется клапанами 8 (рис. 2.1).

Рециркуляция допускается только для помещений с отсутствием выделений вредных веществ, или резких неприятных запахов. В подаваемом в помещение воздухе допускается содержание вредных веществ с концентрацией, не превышающей 30% ПДК.

Вентиляторы - это воздуходувные машины, создающие определенное давление и служащие для перемещения воздуха при потерях давления в вентиляционной сети не более 12 кПа. Наиболее распространенными являются осевые и радиальные (центробежные вентиляторы).

Фильтры, калориферы и вентиляторы приточной вентиляции устанавливают в так называемых вентиляционных камерах, которые часто располагают в подвалах.

Вытяжные вентиляционные камеры устраивают отдельно от приточных вентиляционных камер. В них размещают вентиляторы для побуждения движения воздуха. Эжекторы применяют в вытяжных системах в тех случаях, когда необходимо удалить очень агрессивную среду, пыль, спо-

собную к взрыву не только от удара, но и от трения, или легко воспламеняющиеся газы, взрывоопасные газы (ацетилен, эфир и т.д.).

Принцип действия эжектора заключается в следующем (рис. 2.2): воздух нагнетается в эжектор компрессором или вентилятором высокого давления, установленным за пределом вентилируемого помещения, подводится по трубе к соплу 1 и, выходя из него с большой скоростью, создает за счет эжекции разрежение в камере 2, куда подсасывается воздух из вентилируемого помещения.

В конфузоре 3 и горловине 4 происходит перемешивание эжектируемого (из помещения) и эжектирующего воздуха.

Диффузор 5 служит для преобразования динамического давления в статическое. *Недостатком* эжектора является низкий КПД, не превышающий 25%.

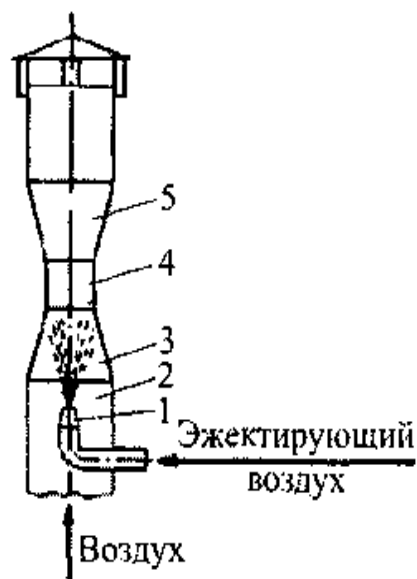


Рис. 2.2. Эжектор:

1 - сопло; 2 - камера разрежения
3 - конфузор; 4 - горловина; 5 - диффузор

2.4. Общие рекомендации по выбору и обоснованию организации воздухообмена в помещении

При расчете воздухообмена необходимо иметь представление о схеме организации воздухообмена в помещении. В том числе необходимо знать распределение параметров воздуха в объеме помещения и расход воздуха, подаваемого и удаляемого из отдельных частей помещения системами местной вентиляции.

Основные принципы, которыми следует руководствоваться при выборе схем подачи – удаления воздуха в помещении:

- подача приточного воздуха (общеобменный приток) должна предусматриваться в зону дыхания, приточные струи не должны проходить через загрязненные зоны помещения;
- удаление воздуха целесообразно осуществлять непосредственно от мест образования вредных выделений (местные отсосы, зонты и другие укрытия систем местной вентиляции);
- общеобменная вытяжка устраивается из зон помещения с наибольшим загрязнением воздуха;

- соотношение между потоками подаваемого и удаляемого из помещений воздуха выбирают таким, чтобы обеспечить направление и достаточный расход воздуха, перетекающего из “чистых” помещений в “загрязненные” смежные помещения;
- в здании и отдельных его частях и секциях, как правило, должен быть полный баланс между суммарным притоком и суммарной вытяжкой.
- система вентиляции не должна вызывать резких перепадов давления в здании. Количество приточного воздуха должно соответствовать количеству удаляемого. Разница между ними не должна превышать 10 – 15%. В некоторых случаях возможно поддержание избыточного давления по отношению к наружному воздуху или соседним помещениям с целью обеспечения перетока воздуха из чистых помещений в менее чистые. Или наоборот, возможно повышение расхода вытяжного воздуха, чтобы гарантированно избежать попадания в помещение запахов и остатков вредных веществ из соседних помещений.

Особенности организации воздухообмена в производственных помещениях определяются физическими свойствами вредных выделений, в первую очередь их плотностью, и состоят в следующем:

1. Приточный воздух следует направлять в помещение таким образом, чтобы он поступал из зон с меньшим загрязнением в зоны с большим загрязнением (рис. 2.3, *а*). В противном случае при вентилировании загрязненный воздух будет перемещаться в зоны помещения, где отсутствуют вредные выделения (рис. 2.3, *б*). Лучшее решение проблемы при наличии в помещении локального источника вредных выделений состоит в использовании местной вытяжной системы вентиляции (рис. 2.3, *в*).

2. В подаваемом в помещение воздухе содержание вредных веществ должно быть не более:

а) 30 % ПДК в воздухе рабочей зоны для производственных и административно-бытовых зданий и помещений;

б) ПДК в воздухе населенных мест для жилых и общественных помещений.

3. Воздух из помещений следует удалять из зон, где он наиболее загрязнен или имеет наиболее высокую температуру.

4. При выделении пыли удаление воздуха предусматривается из рабочей зоны (РЗ) помещения; удаление воздуха со значительным избытком теплоты рекомендуется проводить из верхней зоны (ВЗ) помещения.

5. Удаление из производственных помещений вредных веществ и горючих газов с плотностью, меньшей удельного веса воздуха (равной или большей, если выделение вредных веществ сопряжено с устойчивыми тепловыми потоками), следует проводить:

а) из РЗ - 1/3 требуемого расхода воздуха;

б) из ВЗ - остатальной расход воздуха, требуемого для удаления вредных веществ, или больший, если он необходим для удаления избытков теплоты или влаги, но не менее однократного воздухообмена в час в помещении с высотой не более 6 м, а с высотой более 6 м - не менее 6 м³ /ч на 1 м² площади пола.

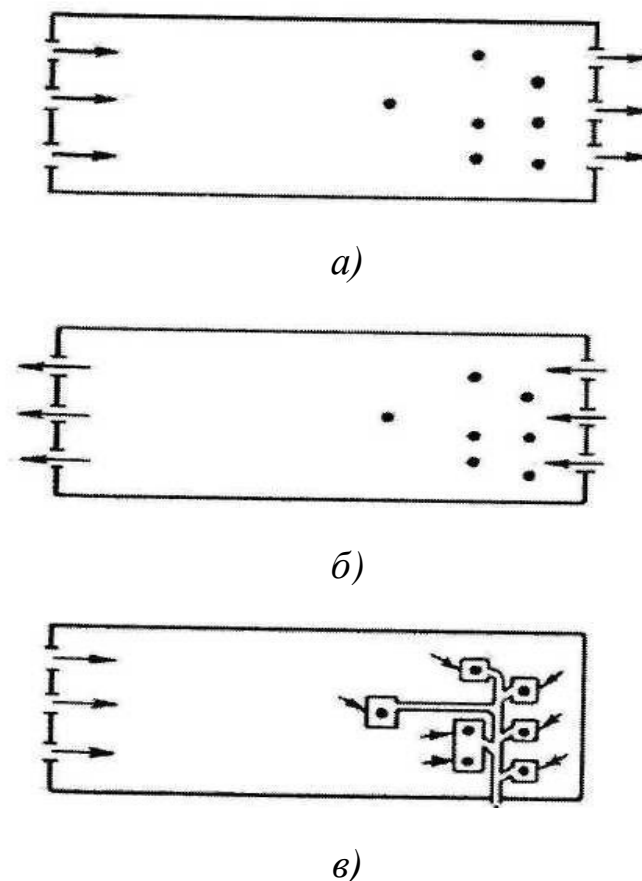


Рис. 2.3. Организация вентиляции помещений с вредными выделениями:
а - правильная; *б* - неправильная; *в* – оптимальная

6. Удаление из производственных помещений вредных веществ и горючих газов с плотностью равной или большей плотности воздуха (если выделение вредных веществ не сопряжено с устойчивыми тепловыми потоками) следует производить:

а) из РЗ - 2/3 требуемого расхода воздуха;

б) из ВЗ - остатальной расход воздуха, требуемого для удаления вредных веществ, или больший, если он необходим для удаления избытков теплоты или влаги, но не менее однократного воздухообмена в час в помещении с высотой не более 6 м, а с высотой более 6 м - не менее 6 м³/ч на 1 м² площади пола.

7. Приемные отверстия для удаления воздуха системами обще обменной вентиляции из ВЗ следует размещать:

а) под потолком, но не ниже 2 м от пола при удалении избытков теплоты, влаги и вредных газов;

б) не ниже 0,4 м от плоскости потолка при удалении взрывоопасных паров, газов и аэрозолей.

8. Приемные отверстия для удаления воздуха системами общеобменной вентиляции из РЗ следует размещать на уровне 0,3 м от пола. Расход воздуха через местные отсосы, размещенные в пределах РЗ, следует учитывать при удалении воздуха из нее.

В производственных зданиях наиболее распространена приточно - вытяжная общеобменная вентиляция, при которой воздух подается в помещение приточной системой, а удаляется - вытяжной. Системы работают одновременно, при этом необходимо обеспечить $L_{пр} \cong L_{выт}$, т.е. $\Delta L = 10\%$.

3. РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Согласно нормативным документам, расчет воздухообмена в системах общеобменной и смешанной вентиляции для обеспечения санитарно-гигиенических норм рекомендуется проводить по следующим показателям: нормируемой кратности воздухообмена, нормируемому удельному расходу приточного воздуха, интенсивности вредных выделений, к которым относятся вредные вещества, избытки явной теплоты и избытки влаги. При этом вычисления следует выполнять отдельно для теплого и холодного времени года. За конечный результат принимают большее значение из полученных расчетами по перечисленным показателям.

3.1. Расчет по нормируемой кратности воздухообмена

Расчет по нормируемой кратности воздухообмена проводится по формуле

$$L_k = kV, \quad (3.1)$$

где k - кратность воздухообмена, ч^{-1} , показывающая, сколько раз в час меняется вследствие работы вентиляции воздух в помещении; V - объем помещения, м^3 ; для помещений высотой 6 м и более согласно СП 60.13330.2020 [7] принимают $V = 6A$, где A - площадь помещения, м^2 .

Как правило, для производственных помещений, в которых нет интенсивных вредных выделений, нормируемая кратность воздухообмена $k < 10 \text{ ч}^{-1}$, но, например, для ряда химических производств она может быть больше.

Представляет интерес сопоставление кратности воздухообмена в помещении с допустимой подвижностью воздуха w , м/с, определяемой работой системы вентиляции, с расходом воздуха L , $\text{м}^3/\text{ч}$. Положим, что в помещении площадью S , м^2 , и высотой h , м, движение воздуха при работе системы вентиляции осуществляется снизу вверх. Тогда, в предположении равномерного движения воздуха по всей площади помещения, будем иметь $L = 3600wS = 3600wV/h$. Приравнявая правые части этого уравнения и уравнения (3.1), получим: $w = kh/3600$.

Отсюда находим, что для того чтобы подвижность воздуха не превышала допустимого значения 0,1 м/с, кратность воздухообмена в помещении должна удовлетворять условию $k \leq 360/h$. Так, при $h = 6$ м кратность воздухообмена $k \leq 60 \text{ ч}^{-1}$.

3.2. Расчет по нормируемому удельному расходу приточного воздуха

Расчет по нормируемому удельному расходу приточного воздуха проводится по формулам

$$L_p = nA, \quad (3.2)$$

$$L_p = mN, \quad (3.3)$$

где n - нормируемый расход приточного воздуха на 1 м^2 площади пола помещения, $\text{м}^3/(\text{ч м}^2)$, например, для жилых помещений $n = 3$; m - нормируемый минимальный расход приточного воздуха $\text{м}^3/\text{ч}$, на 1 человека, на одно рабочее место, на единицу оборудования; N - число людей, рабочих мест, оборудования.

Значения m в зависимости от удельного объема производственного помещения V_y , приходящегося на 1 человека, представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Минимальный удельный расход приточного воздуха m , $\text{м}^3/\text{ч}$ чел, для производственных помещений

Помещения			
без естественного проветривания	с естественным проветриванием при объеме помещения на 1 человека		
	$< 20 \text{ м}^3$	$20 - 40 \text{ м}^3$	$\geq 40 \text{ м}^3$
60	≥ 30	20-30	не нормируется

3.3. Расчет по интенсивности вредных выделений

Рассмотрим систему механической вентиляции помещения, содержащую приточную вентиляцию, подающую воздух в помещение с массовым расходом $G_{\text{пр}}$, $\text{кг}/\text{ч}$, вытяжную вентиляцию, удаляющую воздух из верхней зоны помещения с массовым расходом $G_{\text{вз}}$, $\text{кг}/\text{ч}$, и из рабочей зоны помещения с массовым расходом $G_{\text{рз}}$, $\text{кг}/\text{ч}$ (рис. 3.1). При этом из рабочей зоны воздух может удаляться как общеобменной вентиляцией, так и местными отсосами. Кроме того, в помещении могут быть избытки теплоты, влаги и выделения вредных веществ.

3.3.1. Расчет по избыткам явной теплоты

Описывая баланс явной теплоты и баланс воздуха в помещении, получим следующую систему уравнений:

$$3,6Q + G_{\text{пр}}c_p t_{\text{пр}} - G_{\text{вз}}c_p t_{\text{вз}} - G_{\text{рз}}c_p t_{\text{рз}} = 0, \quad (3.4)$$

$$G_{\text{пр}} - G_{\text{вз}} - G_{\text{рз}} = 0, \quad (3.5)$$

где Q - избытки теплоты в помещении, Вт; c_p - удельная теплоемкость воздуха; $c_p \approx 1,0$ кДж/(кг °С); $t_{\text{пр}}$, $t_{\text{вз}}$, $t_{\text{рз}}$ - температуры соответственно приточного воздуха, воздуха в верхней и рабочей зонах помещения, °С. Заметим, что первое слагаемое в (3.4), так же как и все остальные в этом уравнении, имеет размерность кДж/ч. Отсюда получим следующее выражение для массового расхода воздуха, удаляемого из верхней зоны:

$$G_{\text{вз}} = \frac{3,6Q - L_{\text{рз}}c_p(t_{\text{рз}} - t_{\text{пр}})}{c_p(t_{\text{вз}} - t_{\text{пр}})}. \quad (3.6)$$

Перейдем в формулах (3.5), (3.6) от массовых к объемным расходам с помощью соотношений $L_{\text{пр}} = G_{\text{пр}}/\rho_{\text{пр}}$, $L_{\text{вз}} = G_{\text{вз}}/\rho_{\text{вз}}$ и $L_{\text{рз}} = G_{\text{рз}}/\rho_{\text{рз}}$, где $\rho_{\text{пр}}$, $\rho_{\text{вз}}$, $\rho_{\text{рз}}$ - плотность соответственно приточного воздуха и воздуха в верхней и рабочей зонах помещения, кг/м³. В результате получим

$$L_{\text{вз}} = \frac{3,6Q - L_{\text{рз}}\rho_{\text{рз}}c_p(t_{\text{рз}} - t_{\text{пр}})}{\rho_{\text{вз}}c_p(t_{\text{вз}} - t_{\text{пр}})}, \quad (3.7)$$

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{вз}}\rho_{\text{вз}}/\rho_{\text{пр}} + L_{\text{рз}}\rho_{\text{рз}}/\rho_{\text{пр}}. \quad (3.8)$$

Температура воздуха $t_{\text{пр}}$, °С, подаваемого в помещение системой вентиляции без обработки наружного воздуха, определяется по формуле

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{нар}} + 0,001p, \quad (3.9)$$

где $t_{\text{нар}}$ - температура наружного воздуха, °С; для теплого периода года $t_{\text{нар}}$ определяется параметрами А, а для холодного периода года - параметрами Б (табл. 3.2); p - полное давление вентилятора приточной системы вентиляции, Па.

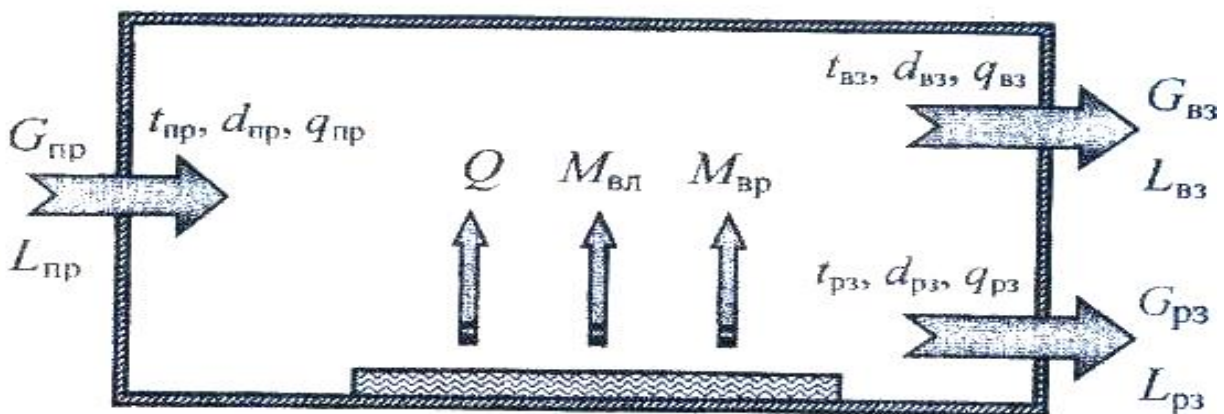


Рис. 3.1. Схема воздухообмена в помещении

Таблица 3.2

Расчетные значения параметров наружного воздуха (г. Москва)

Период	Параметры	Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Скорость ветра, м/с	Среднесуточная амплитуда температуры, °С	Барометрическое давление, кПа
Теплый	А	22,3	49,4	1	10,4	99
	Б	28,5	54	1		
Холодный	А	-15	-11,4	4,7	-	
	Б	-26	-25,3	4		

Значения параметров А и Б приведены в Территориальные строительные нормы ТСН 23-301-97 [3].

Температура воздуха в рабочей зоне $t_{рз}$ принимается равной допустимой норме температуры для данного периода года и категории работ.

Температура воздуха $t_{вз}$, удаляемого из верхней зоны помещения, зависит от многих факторов, в частности от особенностей организации воздухообмена в помещении.

В некоторых случаях для помещений с высотой более 4 м она может быть рассчитана по формуле

$$t_{вз} = t_{рз} + \Delta(H - 2), \quad (3.10)$$

где Δ - градиент температуры по высоте помещения, °С/м, зависящий от особенностей теплообмена в помещении и определяемый, как правило, по результатам натурных измерений; H - расстояние от пола до центра вытяжных отверстий в помещении, м; 2 - высота рабочей зоны помещения.

При этом для помещений с незначительными избытками теплоты, не превышающими 23 Вт/м³, полагают $\Delta = 0,2...0,5$ °С/м; при значительных избытках теплоты в помещении, превышающих 23 Вт/м³, $\Delta = 0,7... 1,5$ °С/м. Следует отметить, что приведенные значения Δ применимы только для схемы воздухообмена «снизу-вверх», т.е. при подаче приточного воздуха в рабочую зону и удалении нагретого воздуха из верхней зоны. Когда приточный воздух подается в верхнюю зону, температурный градиент будет принимать значения, близкие к нулю, так что $t_{вз} \approx t_{рз}$.

Входящие в приведенные ранее формулы величины $\rho_{пр}$, $\rho_{вз}$, $\rho_{рз}$ зависят от давления и температуры воздуха и эта зависимость определяется формулой

$$\rho = p / (RT), \quad (3.11)$$

где p - давление воздуха, Па; T - температура воздуха, К; $T = 273,15 + t$; R - газовая постоянная (для воздуха $R = 287$ Дж/(кг К)). Отсюда получим,

что при нормальном давлении 101,3 кПа плотность воздуха и температура будут связаны соотношением

$$\rho = 353/(273,15+t). \quad (3.12)$$

Обычно принимаемая в расчетах плотность приточного воздуха $\rho_{пр} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ соответствует температуре $t_{пр} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Если температуры приточного воздуха и воздуха в помещении отличаются не более, чем на 15°C , то с приемлемой в инженерной практике погрешностью в пределах 5% можно положить $\rho_{пр} = \rho_{вз} = \rho_{рз}$. При этом уравнения (3.7), (3.8) запишутся в виде

$$L_{вз} = \frac{3,6Q - L_{рз} \rho_{рз} c_p (t_{рз} - t_{пр})}{\rho_{пр} c_p (t_{вз} - t_{пр})}, \quad (3.13)$$

$$L_{пр} = L_{вз} + L_{рз}. \quad (3.14)$$

3.3.2. Расчет по избыткам влаги

Масса влажного воздуха $m_{вл}$ складывается из массы сухого воздуха $m_{в}$ и массы водяного пара $m_{п}$. При этом как сухой воздух, так и водяной пар занимают тот же объем V , что и вся паровоздушная смесь. Поэтому плотность влажного воздуха

$$\rho_{вл} = m_{вл}/V = m_{в}/V + m_{п}/V = \rho_{в} + \rho_{п}. \quad (3.15)$$

Плотность сухого воздуха $\rho_{в}$ и водяного пара $\rho_{п}$, в паровоздушной смеси определяются через их парциальные давления $p_{в}$ и $p_{п}$ по формуле, аналогичной (3.11)

$$\rho_{вл(п)} = p_{в(п)}/(R_{в(п)} T), \quad (3.16)$$

где $R_{в(п)}$ - газовая постоянная для сухого воздуха (в) и водяного пара (п), соответственно равная 287 и 461 Дж/(кг К).

Следует отметить, что для влажного воздуха барометрическое давление $p_{б}$ равно сумме парциальных давлений сухого воздуха $p_{в}$ и водяного пара $p_{п}$

$$p_{б} = p_{в} + p_{п}. \quad (3.17)$$

Тогда с учетом (3.16) и (3.17) выражение (3.15) для плотности влажного воздуха примет вид

$$\rho_{вл} = \rho_{в} + \rho_{п} = (p_{б} - p_{п})/(R_{в} T) + p_{п}/(R_{п} T). \quad (3.18)$$

При отсутствии в воздухе водяных паров плотность воздуха определяется по формуле

$$\rho_c = p_0 / (R_v T). \quad (3.19)$$

Когда водяные пары присутствуют, плотность сухого воздуха в паровоз-душной смеси снижается и в соответствии с (3.18) и (3.19) может быть представлена в виде

$$\rho_v = \rho_c (1 - p_{\text{п}} / p_0) = \rho_c (1 - \delta_1). \quad (3.20)$$

Плотность влажного воздуха $\rho_{\text{вл}}$ также оказывается меньшей плотности ρ_c . Возможно следующее соотношение между этими величинами:

$$\rho_{\text{вл}} = \rho_c [1 - (1 - R_v / (R_{\text{п}})) (p_{\text{п}} / p_0)] = \rho_c (1 - \delta_2). \quad (3.21)$$

Входящие в (3.20) и (3.21) величины δ_1 и δ_2 являются функциями температуры и влажности воздуха. При этом $\delta_1 > \delta_2$.

Как показывают вычисления [1], в рабочем диапазоне температур и влажности воздуха, характерном для работы систем вентиляции производственных помещений ($t < 40$ °С, $\varphi < 75\%$), значения δ_1 и δ_2 не превышают 0,05. Поэтому с погрешностью, не превышающей 5%, можем положить

$$\rho_{\text{вл}} = \rho_v = \rho_c. \quad (3.22)$$

Составим теперь уравнение баланса влаги в помещении. По аналогии с (3.4) будем иметь

$$M_{\text{вл}} + G_{\text{пр}} d_{\text{пр}} - G_{\text{вз}} d_{\text{вз}} - G_{\text{рз}} d_{\text{рз}} = 0, \quad (3.23)$$

где $M_{\text{вл}}$ - интенсивность влаговыделений в помещении, г/ч; $d_{\text{пр}}$, $d_{\text{вз}}$, $d_{\text{рз}}$ - влагосодержание соответственно приточного воздуха и воздуха в верхней и рабочей зонах помещения, г/кг.

Влагосодержание воздуха d , г/кг, принято определять как отношение массы водяного пара $m_{\text{п}}$, г, во влажном воздухе к массе сухой части влажного воздуха $m_{\text{в}}$, кг, или в соответствии с (3.15), как отношение их плотности

$$d = m_{\text{п}} / m_{\text{в}} = 10^3 \rho_{\text{п}} / \rho_{\text{в}}. \quad (3.24)$$

Исходя из уравнения баланса (3.23), влагосодержание воздуха следует определять через соотношение $\rho_{\text{п}} / \rho_{\text{вл}}$. Однако это различие не существенно, так как учитывая (3.22), имеем

$$d = 10^3 \rho_{\text{п}} / \rho_{\text{в}} = 10^3 \rho_{\text{п}} / \rho_{\text{вл}} = 10^3 \rho_{\text{п}} / \rho_{\text{с}}. \quad (3.25)$$

Кроме того, используя (3.16), эти соотношения можно привести к виду

$$d = 10^3 (R_v / R_n) (\rho_n / \rho_v) = 623 \rho_n / (\rho_6 - \rho_n). \quad (3.26)$$

Наконец, выражая в (3.26) парциальное давление насыщенного водяного пара, $\rho_{пнв}$, через относительную влажность, ϕ , получим

$$d = 6,23 \phi \rho_{пнв} / (\rho_6 - 0,01 \phi \rho_{пнв}). \quad (3.27)$$

Из уравнения баланса (3.23) и соотношения (3.5) находим

$$G_{вз} = \frac{M_{вл} - G_{рз} (d_{рз} - d_{пр})}{(d_{вз} - d_{пр})}. \quad (3.28)$$

Для объемных расходов получим следующее выражение:

$$L_{вз} = \frac{M_{вл} - L_{рз} \rho_{рз} (d_{рз} - d_{пр})}{\rho_{вз} (d_{вз} - d_{пр})}. \quad (3.29)$$

При условии $\rho_{вз} = \rho_{рз} = \rho_{пр}$ формула (3.29) принимает вид

$$L_{вз} = \frac{M_{вл} - L_{рз} \rho_{пр} (d_{рз} - d_{пр})}{\rho_{пр} (d_{вз} - d_{пр})}. \quad (3.30)$$

Входящие в (3.30) влагосодержания воздуха в различных зонах помещения определяются параметрами микроклимата в этих зонах помещения и вычисляются по формуле (3.27). Для рабочей зоны такими параметрами являются допустимые, согласно гигиеническим нормам, температура и влажность воздуха.

3.3.3. Расчет по выделению вредных веществ

Уравнение баланса выделяющегося в помещении вредного вещества записывается через объемные расходы воздуха в помещении в виде

$$M_{вр} + L_{пр} q_{пр} - L_{вз} q_{вз} - L_{рз} q_{рз} = 0, \quad (3.31)$$

где $M_{вр}$ - интенсивность выделения вредного веществ в помещении, мг/ч; $q_{пр}$, $q_{вз}$, $q_{р}$ - концентрация вредного вещества соответственно в приточном воздухе и воздухе верхней и рабочей зонах помещения, мг/м³.

Отсюда с учетом (3.8) получим

$$L_{вз} = \frac{M_{вр} - L_{рз} (q_{рз} - q_{пр} \rho_{рз} / \rho_{пр})}{(q_{вз} - q_{пр} \rho_{вз} / \rho_{пр})}. \quad (3.32)$$

Полагая $\rho_{вз} = \rho_{рз} = \rho_{пр}$, будем иметь

$$L_{вз} = \frac{M_{вр} - L_{рз}(q_{рз} - q_{пр})}{(q_{вз} - q_{пр})}. \quad (3.33)$$

Концентрация вредного вещества в рабочей зоне $q_{рз}$ принимается равной ПДК данного вещества в рабочей зоне помещения. Концентрация $q_{пр}$ принимается исходя из фоновой концентрации вредного вещества в местах размещения воздухозаборных устройств, но не более 30 % ПДК в воздухе рабочей зоны.

Недостаток расчетных формул (3.7), (3.17) и (3.20) состоит в необходимости знания параметров вредных выделений в воздухе, удаляемом за пределами рабочей зоны, что само по себе представляет трудную задачу. Для решения этой задачи, вводят в рассмотрение коэффициенты воздухообмена K_t , K_d , K_q , которые устанавливают связь между параметрами воздуха в рабочей зоне и за ее пределами и определяются выражениями

$$K_t = \frac{t_{вз} - t_{пр}}{t_{рз} - t_{пр}}; \quad K_d = \frac{d_{вз} - d_{пр}}{d_{рз} - d_{пр}}; \quad K_q = \frac{q_{вз} - q_{пр}}{q_{рз} - q_{пр}}. \quad (3.34)$$

С учетом введенных коэффициентов воздухообмена в формулы (3.7), (3.17) и (3.20) для расчета воздухообмена они принимают вид

$$L_{вз} = \frac{3,6Q - L_{рз}\rho_{пр}c_p(t_{рз} - t_{пр})}{\rho_{пр}c_p(t_{рз} - t_{пр})K_t} = \frac{1}{K_t} \left[\frac{3,6Q}{\rho_{пр}c_p(t_{рз} - t_{пр})} - L_{рз} \right], \quad (3.35)$$

$$L_{вз} = \frac{M_{вл} - L_{рз}\rho_{пр}(d_{рз} - d_{пр})}{\rho_{пр}(d_{рз} - d_{пр})K_d} = \frac{1}{K_d} \left[\frac{M_{вл}}{\rho_{пр}(d_{рз} - d_{пр})} - L_{рз} \right], \quad (3.36)$$

$$L_{вз} = \frac{M_{вр} - L_{рз}(q_{рз} - q_{пр})}{(q_{рз} - q_{пр})K_q} = \frac{1}{K_q} \left[\frac{M_{вр}}{(q_{рз} - q_{пр})} - L_{рз} \right]. \quad (3.37)$$

Коэффициенты воздухообмена в приведенных формулах (3.35) – (3.37) определяются по нормативным или экспериментальным данным. Они зависят как от характера распространения вредных выделений в помещении, так и от особенностей организации воздухообмена. При выборе схемы воздухообмена следует отдавать предпочтение тем, которые обеспечивают больший коэффициент воздухообмена. Для помещений со значительными избытками явной теплоты и подаче воздуха непосредственно в РЗ ориентировочные значения коэффициентов K_t , K_q представлены в табл. 3.3, а для помещений с незначительными избытками теплоты - в табл. 3.4. Что касается коэффициента K_d , то при отсутствии других данных коэффициент K_d рекомендуется принимать равным K_q [1].

Таблица 3.3

Коэффициенты воздухообмена для помещений со значительными избытками явной теплоты

Виды цехов	K_t	K_q	Виды цехов	K_t	K_q
Кузнечно-прессовые	2,0	2,7	Доменные	1,6	2,2
Термические	1,9	2,6	Прокатные	1,5	2,1
Сушильные	1,8	2,5	Электролизные	1,4	1,9
Литейные	1,7	2,3	Вулканизации	1,3	1,8

Отличительной особенностью формул (3.35) – (3.37) является то, что расход воздуха $L_{вз}$, удаляемого из верхней зоны, определяется разностью выражений в квадратных скобках. При этом если интенсивность вредных выделений достаточно мала, а расход воздуха $L_{рз}$, удаляемого из РЗ, наоборот, большой, то вычисляемый по этим формулам расход $L_{рз}$ может принимать отрицательные значения. Физический смысл этого результата состоит в том, что в данном случае расход воздуха $L_{рз}$ достаточен для того, чтобы все вредные выделения в помещении удалялись из РЗ. Это означает, что нет необходимости в удалении воздуха из верхней зоны помещения [1].

Таблица 3.4

Коэффициенты воздухообмена для помещений с незначительными избытками явной теплоты

Способ подачи воздуха	Коэффициенты K_t , K_q при кратности воздухообмена, 1/ч					
	3		5		10	
	K_t	K_q	K_t	K_q	K_t	K_q
Непосредственно в РЗ	1,3	1,85	1,2	1,4	1,05	1,15
Наклонными струями в направлении РЗ	1,15	1,4	1,1	1,2	1,0	1,1
Вертикальными струями в направлении РЗ	1,05	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0

Поэтому, если при вычислениях получается отрицательное значение $L_{вз}$, то следует положить

$$L_{вз}=0; \quad L_{пр}=L_{рз}. \quad (3.38)$$

Как отмечалось ранее, при выделении в помещении вредных веществ рекомендуется их удаление одновременно из верхней и рабочей зоны. При этом имеют место следующие соотношения между расходами:

$$L_{вз} = \delta L_{пр}; \quad L_{рз} = (1 - \delta) L_{пр}, \quad (3.39)$$

где δ - доля воздуха, удаляемого из верхней зоны помещения. Для паров и газов вредных веществ с плотностью большей или равной плотности воздуха, $\delta = 1/3$. Если их плотность меньше плотности воздуха, то $\delta = 2/3$.

Тогда уравнение баланса вредных выделений в помещении (3.31) принимает вид

$$M_{вр} + L_{пр} q_{пр} - \delta L_{пр} q_{вз} - (1 - \delta) L_{пр} q_{рз} = 0. \quad (3.40)$$

Отсюда находим расход приточного воздуха $L_{пр}$ (м³/ч) по формуле

$$L_{пр} = \frac{M_{вр}}{\delta(q_{вз} - q_{пр}) + (1 - \delta)(q_{рз} - q_{пр})} = \frac{M_{вр}}{(\delta(K_q - 1) + 1) \cdot (q_{рз} - q_{пр})}. \quad (3.41)$$

Заметим, что в случае, когда воздух из помещения удаляется только из одной верхней зоны с расходом $L_{вз} = L_{пр} = L$, полученные выше формулы (3.35) – (3.37) для расчета воздухообмена по интенсивности вредных выделений упростятся

$$L = \frac{3,6Q}{\rho_{пр} c_p (t_{рз} - t_{пр}) K_t}; \quad (3.42)$$

$$L = \frac{M_{вл}}{\rho_{пр} (d_{рз} - d_{пр}) K_d}; \quad (3.43)$$

$$L = \frac{M_{вр}}{(q_{рз} - q_{пр}) K_q}. \quad (3.44)$$

Когда вредные выделения распределяются по помещению равномерно, или воздух в помещении удаляется только из рабочей зоны, где и происходит выделение вредных веществ, то для расчета воздухообмена в этих формулах следует положить значения коэффициентов воздухообмена $K_t = K_d = K_q = 1$.

Если в помещении одновременно выделяется нескольких вредных веществ, не обладающих однонаправленным действием на организм человека, то на основании формулы (3.44) определяется расход воздуха для каждого из этих веществ.

Так, для i -го вещества с интенсивностью выделения $M_{ври}$, и предельно допустимой концентрацией ПДК, будем иметь

$$L_i = M_{ври} / (\text{ПДК}_i - q_{при}). \quad (3.45)$$

Потребный воздухообмен в помещении при этом равен большему из полученных расходов.

При одновременном выделении в помещении нескольких вредных веществ однонаправленного действия расход воздуха определяется по формуле

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{M_{\text{вр}}}{\text{ПДК}_i} = \sum_{i=1}^n L_i. \quad (3.46)$$

Таким образом, для веществ однонаправленного действия общий расход воздуха равен сумме расходов, разбавляющих каждое вещество до его условной предельно допустимой концентрации q_i , учитывающей загрязнение воздуха другими веществами.

Уравнение (3.46) остается справедливым и для случая, когда вредные вещества содержатся и в приточном воздухе. При этом, однако, общий расход воздуха в помещении должен обеспечивать выполнение соотношения

$$\sum_{i=1}^n \frac{(q_i + q_{\text{пр}i})}{\text{ПДК}_i} \leq 1. \quad (3.47)$$

В гальванических и травильных отделениях, в зависимости от технологического оборудования, следует применять местные отсосы со щелью всасывания в горизонтальной плоскости (опрокинутые) без передувки - двухбортовые и с передувкой - двухбортовые и однобортовые (рис. 3.2).

Ванны шириной менее 600 мм могут быть оснащены однобортовыми отсосами без передувки. Допускается установка отсосов со щелью всасывания в вертикальной плоскости. Отсосы следует располагать по длинному борту ванны. На ванны длиной более 1200 мм следует устанавливать несколько секций отсосов.

Местные отсосы от оборудования обезжиривания деталей органическими растворителями следует объединить в самостоятельные вентиляционные установки. В отдельные установки следует выделять местные отсосы для цианистых ванн, процессов никелирования и хромирования. Для остальных гальванических процессов допускается объединение местных отсосов в общую вытяжную установку.

Количество воздуха, удаляемое через местные отсосы L , м³/ч, определяется по формуле

$$L = L_0 \cdot K_{\Delta t} \cdot K_t \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (3.48)$$

где L_0 - количество воздуха, удаляемого от ванны через местные отсосы, зависящие от её параметров, м³/ч; $K_{\Delta t}$ - коэффициент, учитывающий разность температур раствора и воздуха в помещении; K_t - коэффициент, учитывающий токсичность и интенсивность выделения вредных веществ; K_1 - коэффициент, учитывающий тип отсоса; K_2 - коэффициент, учитыва-

ющий наличие воздушного перемещения; K_3 - коэффициент, учитывающий укрытие зеркала раствора плавающими телами (шариками, линзами и т.п.); K_4 - коэффициент, учитывающий укрытие зеркала раствора пенным слоем при введении ПАВ.

Объём отсасываемого воздуха от ванн без передувки со щелью всасывания в горизонтальной или вертикальной плоскостях (рис. 3.2 а, б, д, е) рассчитывается по формуле

$$L_0 = 1400 \cdot \left(0,53 \cdot \frac{B_p \cdot l}{B_p + l} + H_p\right)^{1/3} \cdot B_p \cdot l, \quad (3.49)$$

где B_p - расчётная ширина ванны, принимаемая равной для двухбортовых отсосов расстоянию между краями отсосов, для однобортовых отсосов - расстоянию между кромкой отсоса и бортом или осью воздухоподающей трубы для отсосов с передувкой, м; l - длина ванны, м; H_p - расчетное расстояние от зеркала раствора до борта ванны или оси щели, м.

Для отсосов с передувкой со щелью всасывания в горизонтальной плоскости (рис. 3.2 в, г) объём удаляемого воздуха L_0 , м³/ч, определяется по формуле

$$L_0 = 1200 \cdot B_p^{3/2} \cdot l. \quad (3.50)$$

Количество воздуха для передувки L , м³/ч, рассчитывается по формуле

$$L_m = 60 \cdot B_p \cdot l \cdot K_{\Delta t}. \quad (3.51)$$

Значение коэффициентов $K_{\Delta t}$ и K_T приведены в табл. 3.5 и табл. 3.6 соответственно.

Таблица 3.5

Значения коэффициентов $K_{\Delta t}$

Разность температур раствора и воздуха, ΔT , К	Значения коэффициента $K_{\Delta t}$	
	отсосы без передувки	отсосы с передувкой
1	2	3
0	1,0	1,0
5	1,08	1,015
10	1,16	1,030
15	1,24	1,045
20	1,31	1,060
25	1,39	1,075
30	1,47	1,090
35	1,55	1,105
40	1,63	1,120
45	1,71	1,135

1	2	3
50	1,79	1,150
55	1,86	1,165
60	1,94	1,180
65	2,02	1,195
70	2,10	1,210
75	2,18	1,225
80	2,26	1,240

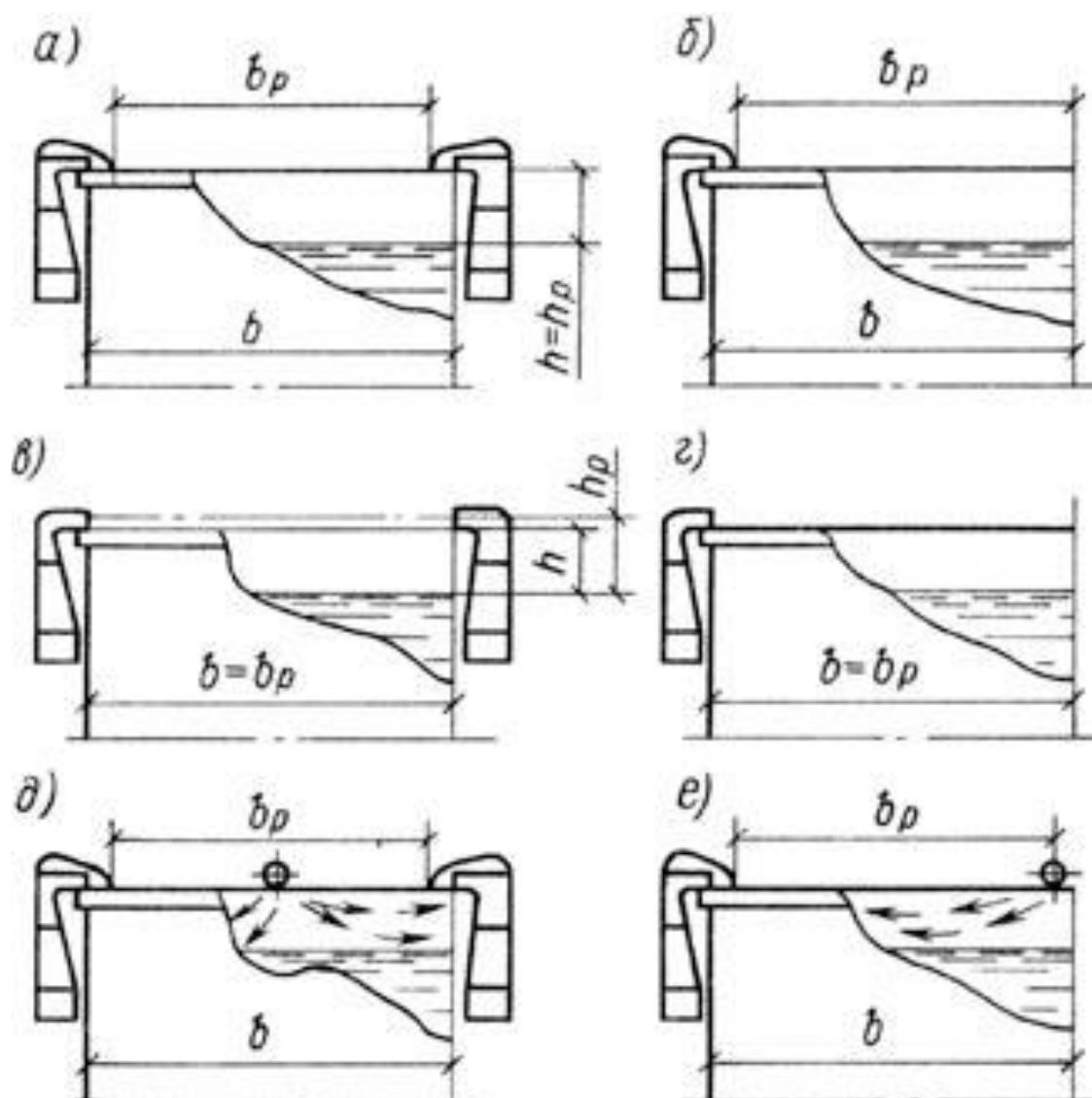


Рис. 3.2. Местные отсосы от гальванических ванн:

отсосы с горизонтальной щелью всасывания: без передувки - двухбортовые (а) однобортовые (б); с передувкой - двухбортовые (д) однобортовые (е). Отсосы с вертикальной щелью всасывания двухбортовые (е) однобортовые (з)

Таблица 3.6

**Значения удельного количества вредных веществ, выделяющихся
от гальванических ванн L_y и коэффициент K_T .**

Технологические процессы гальванопокрытий*	Определяющее вредное вещество	L_y^{**} , мг/м ² ·с	K_T
1	2	3	4
1. Электрохимическая обработка металлов в растворах, содержащих хромовую кислоту, концентрация 150-300 г/л, при силе тока ≥ 1000 А (хромирование, анодное декапирование, снятие меди и т.п.)	Хромовый ан-гидрид	10	2
2. То же в растворах, содержащих хромовую кислоту, концентрация 30-60 г/л (электрополировка алюминия, стали и др.)	Хромовый ан-гидрид	2	1,6
3. То же в растворах, содержащих хромовую кислоту, концентрация 30-100 г/л, при силе тока ≤ 500 А, а также химическое оксидирование Al и Mg (анодирование алюминия и магния и др.)	Хромовый ан-гидрид	1	1,25
4. Химическая обработка стали в растворах хромовой кислоты и ее солей при $T > 323$ К (пассивация, травление, снятие оксидной пленки, наполнение в хромпике и др)	Хромовый ан-гидрид	$5,5 \cdot 10^{-3}$	1
5. Химическая обработка металлов в растворах хромовой кислоты и ее солей при $T \leq 323$ К (осветление, пассивирование и др.)	Хромовый ан-гидрид	0*	**
6. Химическая обработка в растворах щелочей (оксидирование стали, химполировка алюминия, рыхление окалина на титане, травление Al, Mg и их сплавов и др.):	Щёлочь	55	
при $T < 373$ К			1,25
при $T > 373$ К			1,60
7. Электрохимическая обработка в растворах щелочей (анодное снятие шлама, обезжиривание, лужение, снятие олова, оксидирование меди, снятие хрома и др.)	Щёлочь	11	1,60
8. Химическая обработка металлов и Al и Mg в растворах щелочей (химическое обезжиривание, нейтрализация и др.):	Щёлочь	0*	1
при $T > 373$ К			1
при $T \leq 373$ К			**

1	2	3	4
9. Кадмирование, серебрение, золочение и электрохимическое декапирование в цианистых растворах	Цианистый водород	5,5	2
10. Цинкование, меднение, латунирование, химическое декапирование и амальгирование в цианистых растворах	Цианистый водород	1,5	1,6
11. Химическая и электрохимическая обработка металлов в растворах, содержащих фтористоводородную кислоту и ее соли	HF	20	1,6
12. Химическая обработка металлов концентрированных холодных и разбавленных в нагретых растворах, содержащих HCl (снятие шлама, травление)	Соляная кислота	80	1,25
13. Химическая обработка металлов кроме снятия цинкового и кадмиевого покрытий, холодных растворов, содержащих соляную кислоту, концентрация до 200 г/л (травление, декапирование и др.)	Соляная кислота	$3 \cdot 10^{-1}$	**
14. Электрохимическая обработка металлов в растворах, содержащих серную кислоту, концентрация 150-300 г/л, а также химическая обработка концентрированных холодных и нагретых разбавленных растворах (анодирование, электрополировка, травление, снятие никеля, серебра, гидридная обработка титана и др.)	Серная кислота	7	1,6
15. Меднение, лужение, цинкование и кадмирование в серно-кислотных растворах с $T \leq 323$ К, а также химическое декапирование	Серная кислота	0*	**
16. Химическая обработка металлов в концентрированных нагретых и электрохимическая обработка в концентрированных холодных растворах, содержащих ортофосфорную кислоту (химическая полировка алюминия, электрополировка стали, меди и др.)			
16. Химическая обработка металлов в концентрированных нагретых и электрохимическая обработка в концентрированных холодных растворах, содержащих ортофосфорную кислоту (химическая полировка алюминия, электрополировка стали, меди и др.)	Фосфорная кислота	5	1,6

1	2	3	4
17. Химическая обработка металлов в концентрированных холодных и разбавленных нагретых растворах, содержащих ортофосфорную кислоту (фосфатирование и др.)	Фосфорная кислота	0,6	1,25
18. Химическая обработка металлов в разбавленных растворах, содержащих HNO_3 (осветление алюминия, химическое снятие никеля, травление и декапирование меди, пассивация и др.) при концентрации раствора:	Азотная кислота и окислы азота	3	1,25
>100 г/л <100 г/л		3 0*	1,25 **
19. Никелирование в хлоридных растворах при плотности тока 3 А/дм ²	Растворимые соли никеля	0,15	2
20. Меднение в этилендиаминовом электролите	Этилендиамин	0*	1,0
21. Никелирование в сульфатных растворах при плотности тока 1-3 А/дм ²	Растворимые соли никеля	0,03	1,6
22. Кадмирование и лужение кислых электролитов с добавлением фенола	Фенол	0*	1,0
23. Промывка в горячей воде при $T \geq 323 \text{ K}$	Пары H_2O	-	0,5
24. Крашение в анилиновом красителе	Анилин	0*	1,0
25. Безвредные технологические процессы при наличии неприятных запахов, например, аммиака, клея и др.			0,5

Примечания: *- количество выделяющихся вредных веществ не значительно при расчёте вентиляционных выбросов может не учитываться;
**- местный отсос не требуется, только при наличии воздушного перемешивания раствора местный отсос необходим ($K_T=0,5$).

При оборудовании ванн отсосами с передувкой для всего технологического процесса следует принимать $K_T = 1$ (табл.3.7)

Значение L_0 и L_n для нормализованных ванн, оснащенных новой конструкцией местных отсосов, приведены в табл. 3.8.

Таблица 3.7

Значение коэффициентов K_1, K_2, K_3, K_4 .

Коэффициент	Отсос		
	тип	без передувки	с передувкой
K_1	Однобортовой	1,8	1
K_1	Двухбортовой	1,0	0,7
K_2	Двухбортовой	1,2	1
K_3	Двухбортовой	0,75	1
K_4	Двухбортовой	0,5	1

Значения L_0 и L_n для нормализованных ванн

Размер ванн в плане В х l, мм	$L_0, \text{м}^3/\text{с}$			$L_n, \text{м}^3/\text{с}$
	без передувки	с передувкой		
	двухбортовой	двухбортовой	однбортовой	
450 x 800	0,07	-	0,06	0,0056
450 x 1000	0,1	-	0,08	0,0083
450 x 1150	0,14	-	0,10	0,01
450 x 2200	0,20	-	0,15	0,015
500 x 1100	0,12	-	0,09	0,083
600 x 1500	0,16	-	0,13	0,013
550 x 600	0,07	-	0,08	0,056
600 x 1100	0,15	-	0,13	0,01
600 x 1500	0,21	-	0,18	0,014
600 x 2200	0,31	-	0,25	0,02
700 x 800	0,13	-	0,13	0,0097
700 x 1100	0,18	-	0,17	0,013
700 x 1500	0,25	-	0,23	0,017
700 x 2200	0,98	-	0,34	0,025
800 x 560	0,11	-	0,11	0,083
800 x 760	0,15	-	0,15	0,0097
1000 x 1500	0,40	0,3	0,43	0,025
1000 x 2200	0,61	0,44	0,63	0,036
1100 x 560	0,15	0,13	0,19	0,01
1100 x 760	0,22	0,18	0,25	0,014
1200 x 1100	0,37	0,3	0,38	0,022
1200 x 1500	0,5	0,41	0,58	0,029
1200 x 2200	0,77	0,6	0,85	0,043

Примечание: приведённые значения L_0 и L_n рассчитаны для $V_p = (B-0,1) \text{ м}$, $H_p = 0,15 \text{ м}$, $K_{\Delta t} = 1$.

Для ванн, оборудованных крышками, постоянно перекрывающими зеркало раствора на половину ширины ванны, расчетное количество воздуха, определяемое по формулам (3.50) и (3.51), следует уменьшить на 30%.

При крышках, перекрывающих менее половины ширины ванны, уменьшение количества удаляемого воздуха не допускается.

Количество воздуха, удаляемого от шкафов для обезжиривания мелких деталей органическими растворителями (или травления их в кислотах), следует определять из условия обеспечения скорости всасывания воздуха в открытом проёме не менее 0,7 м/с. Для шкафов, в которых установлена оборудование с вращающимися приспособлениями, скорость всасывания следует принимать не менее 1 м/с.

Баки, сборники, мерники для растворения кислот, щелочей и солей должны быть оснащены неоткрывающимися во время работы обслуживающего персонала крышками и местными отсосами.

Количество воздуха, удаляемого местными отсосами, следует определять из условия обеспечения скорости всасывания через неплотности 0,7 м/с при холодных и 1 м/с при нагретых растворах.

В гальванических и травильных цехах и отделениях должна быть предусмотрена блокировка технического оборудования с действием местных отсосов, которая предотвращает работу этого оборудования при отключении вентиляции.

Блокировка должна обеспечивать:

- а) отключение постоянного тока питания ванн;
- б) отключение транспортных средств и механизмов с выводом обрабатываемых изделий из всех ванн;
- в) включение местных отсосов перед началом технологического процесса и их работу в течение 5-10 мин. после выключения технологического оборудования.

Для технологических процессов по пп. 9 - 12 и 18 табл. 3.6 следует предусматривать установку резервных вентиляторов.

В нерабочее время следует обеспечивать вентиляцию помещения цеха из расчета ассимиляции влагоизбытков с целью защиты от разрушений строительных конструкций. Для этого должны включаться части приточных и вытяжных установок с учетом круглосуточной работы вытяжных установок от ванн по пп. 9 - 12 и 18 табл. 3.6, если эти ванны не имеют крышек и укрытий.

Уклон горизонтальных участков вентиляционной сети должен составлять 0,005 - 0,001. В нижней части участков сети необходимо устраивать сборник с устройством для спуска конденсата в канализацию.

Количество приточного воздуха следует предусматривать из расчета компенсации воздуха, удаляемого через местные отсосы с проверкой на ассимиляцию тепло- и влагоизбытков. В случае необходимости подачи дополнительного количества приточного воздуха следует так же предусматривать механическую вытяжку из верхней зоны для удаления этого количества воздуха.

При смежном расположении гальванических и травильных отделений с другими помещениями, не имеющими токсичных выделений и пыли, воздух следует подавать в количестве 95% от расчетного воздухообмена. Остальной воздух должен поступать из смежного помещения через дверные и другие проемы. В случае, когда это количество воздуха составляет в смежном помещении более чем однократный воздухообмен, необходимо предусматривать подачу воздуха в смежное помещение установками с механическим побуждением из условия компенсации 5% от расчетного воздухообмена в гальваническом или травильном отделениях.

Подачу воздуха необходимо осуществлять в верхнюю зону помещения с обеспечением в рабочей зоне скорости движения воздуха не более 0,3 м/с и допустимой неравномерности распределения параметров воздуха.

Шахты вентиляционных установок должны обеспечивать факельный выброс. Над вытяжными шахтами зоны устанавливаются не рекомендуется.

Вентиляторы необходимо применять в антикоррозионном исполнении. В нижней части кожуха вентилятора должны быть предусмотрены устройства для отвода конденсата в канализацию.

Вентиляционные выбросы гальванических и травильных цехов должны рассчитываться в соответствии с требованиями СП 2.1.3684-21 по защите воздушного бассейна предприятий и атмосферного воздуха населенных пунктов. Очистку вентиляционных выбросов предусматривать не следует, если концентрация вредных веществ в удаляемом воздухе не превышает предельно допустимые, установленные ГОСТ 12.1.005-88* для воздуха рабочей зоны помещения.

Для очистки вентиляционных выбросов от вредных веществ в удаляемом воздухе, выделяющихся в виде аэрозолей, рекомендуется применять кассетные фильтры из полимерных материалов или пенный газопылеочиститель интенсифицированный ППП-И со стабилизатором пены [7]. Фильтры, как правило, встраивают бортовой отсос; допускается их устанавливать в магистральных воздуховодах или коллекторах с максимальным приближением к местным отсосам.

3.4. Расчет местной вытяжной вентиляции

Местную (локальную) вентиляцию устраивают для удаления вредных веществ и (или) избытков тепла непосредственно в месте их образования, чем обеспечивается максимальное улавливание вредностей при минимальном расходе воздуха (рис. 3.3).

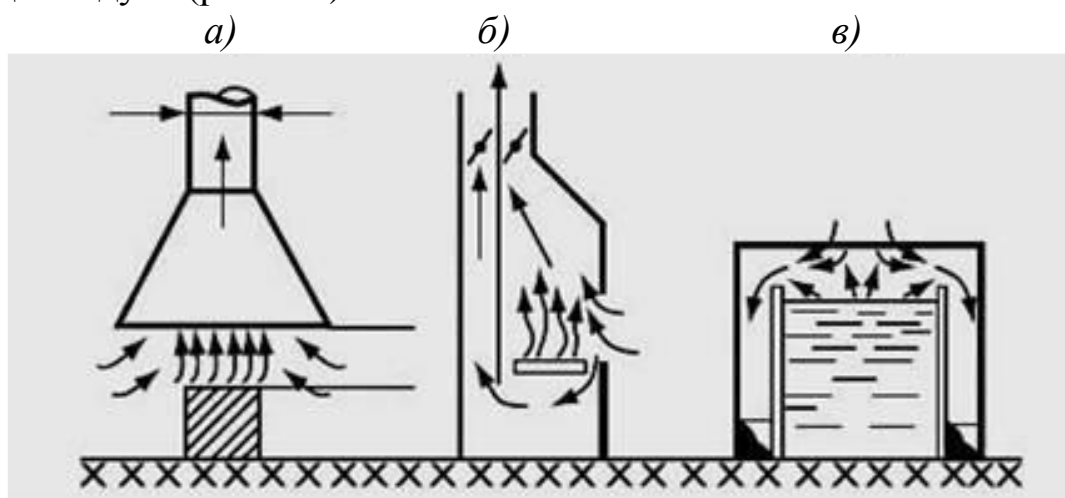


Рис. 3.3. Схема местной вытяжной вентиляции:
а – вытяжной зонты; б – вытяжной шкаф; в – бортовой отсос

Расчет вытяжных шкафов

Расход удаляемого воздуха $Z_{вр}$, м³/ч при наличии только вредных веществ (паров, газов, пылей) проводится по формуле

$$Z_{вр} = 3600 V_0 F, \quad (3.52)$$

где V_0 – скорость воздуха в рабочем проеме, м/с; F – сечение проема, м².

При наличии только тепловыделений Z_t , м³/ч расход воздуха определяется по формуле

$$Z_t = 120 \sqrt[3]{HQF^2}, \quad (3.53)$$

где Q – количество тепловыделений, кДж/ч.

Сечение проема, F , м² определяется по формуле

$$F = H \cdot B, \quad (3.54)$$

где H – высота рабочего проема шкафа, м; B – ширина рабочего проема шкафа, м. Рекомендуемое соотношение $H/B = 2/3$. V_0 определяется в зависимости от ПДК вредного вещества (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Соотношение скорости воздуха в рабочем проеме и ПДК

ПДК, мг/м ³	V_0
> 100	0,5
100..10,0	0,5..0,75
10,0..0,1	0,75..1,0
1,0..0,1	1,0..1,5
< 0,1	1,5..1,0

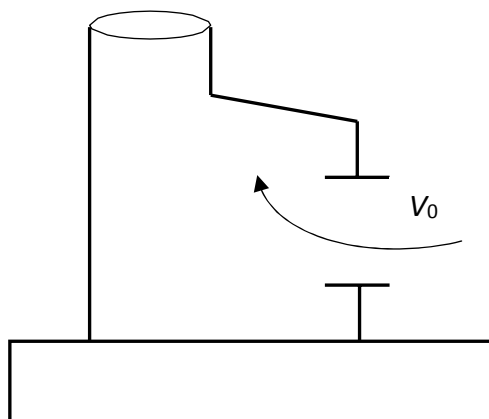


Рис. 3.4. Условная схема вытяжного шкафа

Для определения количества тепла, $Q_{нагр.}$, кал/ч или $Q_{эл}$, Дж/ч удаляемого через вытяжной шкаф, используется формула:

$$Q_{нагр} = G c (t_k - t_n) \quad (3.55)$$

или

$$Q_{эл} = 860 \cdot N, \quad (3.56)$$

где G – масса вещества, которое нагревается до температуры t_k , кг; c – удельная теплоемкость нагреваемого вещества, кал/ч⁰С, кг; t_k – температура кипения нагретого вещества; t_n – температура окружающего воздуха в помещении; N – суммарная мощность нагревательного устройства, кВт.

Если в производственном помещении есть и вредные вещества, и тепловыделения, то общее количество расхода воздуха определяется из выражения:

$$Z_{\Sigma} = Z_{вр} + Z_{т}. \quad (3.57)$$

Реальный объем удаляемого воздуха определяется выражением

$$Z_{\Sigma p} = Z_{\Sigma} \cdot K_{т} \cdot K_{ф} \cdot K_{з}, \quad (3.58)$$

где $K_{т}$ – коэффициент токсичности, зависит от ПДК вредного вещества (табл. 3.10); $K_{ф}$ – коэффициент, учитывающий отклонение фактической системы вентиляции от проектной $K_{ф} = 1,0..1,2$; $K_{з}$ – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,10..1,15.

Таблица 3.10

Значение коэффициента токсичности $K_{т}$

ПДК, мг/м ³	> 10,0	10,0..5,0	5,0..3,0	3,0..1,0	1,0..0,3	< 0,3
$K_{т}$	1,0	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25

Определяем кратность воздухообмена по формуле

$$K = Z_{\Sigma p} / V_{шк}, \quad (3.59)$$

где $V_{шк}$ – внутренний объем шкафа; ($V_{шк} = h \cdot b \cdot l$, h – высота шкафа, м; b – ширина шкафа, м; l – длина шкафа, м). Принято считать: $b = h$, $l = 1,24h$.

Полученную кратность воздухообмена сравниваем с рекомендуемой.

Если она равна или больше, то работа вытяжного шкафа является эффективной:

$$K \geq K_p. \quad (3.60)$$

Значение K_p зависит от ПДК вредных выделяемых веществ (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Значение коэффициента запаса K_p

ПДК, мг/м ³	> 100	100..10,0	10,0..1,0	1,0..0,1	< 0,1
K_p	150..200	200..250	250..300	300..400	400..500

Для расчета производительности вентиляционной установки служит реальный объем воздуха, удаляемого из помещения.

Производительность радиального вентилятора (L_v) определяется по выражению

$$L_v = 1,1 \cdot Z_{\Sigma p}, \quad (3.60)$$

где $Z_{\Sigma p}$ – максимальный объем воздуха, рассчитанный или при выделении вредных веществ, или при наличии избытков явного тепла, или при наличии влаговыделений.

4. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ И УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ ОБОРУДОВАНИЯ

4.1. Компоновка вентиляционных систем и оборудование камер

4.1.1. Приточные и вытяжные камеры

Приточные и вытяжные камеры в производственных одноэтажных зданиях рекомендуется размещать внутри помещений, на антресолях, этажерках, в межферменном пространстве и на кровлях. Приточные камеры следует располагать с учетом забора воздуха из незагрязненных зон и исходя из минимальных приведенных затрат. Приточные камеры и кондиционеры в общественных и административных зданиях, а также во вспомогательных помещениях производственных предприятий следует проектировать в нижних частях здания (преимущественно в первых этажах), вытяжные камеры - в верхних частях здания (верхние этажи, чердаки). В многоэтажных зданиях с большим количеством вентиляционных систем рекомендуется устраивать технические этажи. Агрегаты приточных и вытяжных вентиляционных систем не следует располагать в одной камере.

В производственных и общественных зданиях, где устанавливается вентиляционное оборудование для пяти и более систем, необходимо предусматривать помещение для ремонта оборудования, а также для регенерации масла фильтров, если отсутствуют централизованные ремонтные мастерские или центральные установки для регенерации масла. В помещениях для вентиляционного оборудования и кондиционеров при необходимости должен быть предусмотрен подвод и отвод воды для промывки оборудования и полов.

При компоновке вентиляционных систем и размещении камер следует руководствоваться следующими соображениями:

- радиус действия систем должен быть оптимальным как по технико-экономическим, так и по конструктивным соображениям (50-60 м);
- вентиляционные системы должны обслуживать помещения, близкие по характеру производства и метеорологическим условиям;
- недопустимо объединение вытяжных устройств, отсасывающих пыльный и влажный воздух, легкоконденсирующиеся пары и пыль, ядовитые вещества и другие вредные выделения, при смешении которых создается ядовитая, воспламеняющаяся или взрывоопасная механическая смесь, а также горючие вещества и газы (например, отсосы от масляных ванн и термических печей).

При проектировании камер должны предусматриваться:

- лестницы, площадки, а также люки и двери для доступа к оборудованию и трубопроводам, требующим обслуживания;
- передвижные или стационарные подъемно-транспортные средства (например, блоки, тали, монорельсы, а в отдельных случаях для громоздкого оборудования - краны);
- электрическое освещение помещений камер и секций, а также помещений для размещения оборудования вентиляционных систем и кондиционеров.

Высота помещения, предназначенного для размещения вентиляционного оборудования, должна приниматься не менее чем на 0,8 м больше высоты оборудования, но не менее 1,8 м от пола до низа выступающих частей коммуникаций и оборудования в местах нерегулярного прохода обслуживающего персонала, и не менее 2 м - в местах регулярного прохода людей.

Ширина прохода для обслуживающего персонала между выступающими частями оборудования, а также между оборудованием и стенами или колоннами должна предусматриваться не менее 0,7 м.

4.1.2. Воздуховоды

Воздуховоды вентиляционных систем следует проектировать так, чтобы при наименьшей их протяженности обеспечивались нормативные климатические условия во всех рабочих зонах помещения. Воздуховоды должны предусматриваться круглого сечения, заводского изготовления. В зависимости от архитектурных, конструктивных и других требований воздуховоды допускается проектировать прямоугольного или овального сечения. Воздуховоды вытяжных систем местных отсосов, по которым удаляются горючие газы, должны прокладываться с подъемом в направлении движения газов. Для транспортировки влажного воздуха (с относительной влажностью более 80%) и смесей с легкоконденсирующимися парами должны применяться воздуховоды из оцинкованной стали, которые прокладывают с уклоном 0,005-0,01 или вертикально. Для дренажа в нижних точках воздуховодов предусматриваются сифоны из труб диаметром более 20 мм.

Крепление воздуховодов, присоединяемых к вентиляторам и другому оборудованию, следует проектировать так, чтобы вес воздуховодов не передавался на вентилятор и другое оборудование. Для измерения параметров воздушной среды в стенках воздуховодов, в ограждениях вентиляционного оборудования и кондиционеров должны предусматриваться лючки, гильзы или другие устройства. Вытяжку из верхней зоны производственных помещений по возможности следует устраивать без разветвленных воздуховодов с помощью фонарей, шахт, дефлекторов и крышных

вентиляторов. Напорные участки воздухопроводов вытяжных систем, как правило, не должны прокладываться через другие помещения.

При необходимости такой прокладки необходимо предусматривать меры, предотвращающие попадание загрязненного воздуха в эти помещения.

При перемещении воздуха, содержащего химически активные смеси, применяют воздухопроводы, изготовляемые из кислотостойкой стали, листовой стали с защитными покрытиями, винипласта, керамики и кислотоупорного бетона.

Винипластовые воздухопроводы из-за хрупкости не следует применять в местах, подверженных механическим воздействиям, а также при температуре среды выше 50 °С. При креплении воздухопроводов расстояния между подвесками не должны превышать значений, указанных в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Расстояние между кронштейнами (подвесками)

Воздуховоды	Максимальное расстояние, м
Металлические неизолированные на бесфланцевом соединении при диаметре или размере большей стороны до 400 мм	4
То же, более 400 мм	3
Металлические неизолированные на фланцевом соединении диаметром до 2000 мм или размере большей стороны до 2000 мм	6
Металлические неизолированные вертикальные всех размеров	4
Винипластовые всех размеров:	
горизонтальные	2-2,5
вертикальные	3

Для периодической чистки подпольных кирпичных или бетонных каналов в их перекрытиях устраивают люки, которые располагают: при непроходных каналах - на всех поворотах, ответвлениях и через 5 м на прямых участках; при полупроходных каналах (сечением не менее 700 x 900 мм) - не чаще чем через 20 м, располагая их преимущественно на поворотах и против ответвлений; при проходных каналах - не чаще чем через 50 м.

Воздуховоды аспирационных систем и пневмотранспорта, как правило, прокладывают поверху. При прокладке под полом стальные воздухопроводы укладывают в кирпичных или бетонных каналах, перекрываемых съемными плитами. Ответвления воздухопроводов присоединяют к магистралям в системах аспирации и пневмотранспорта сбоку или сверху.

4.1.3. Запорные и регулирующие устройства

В качестве запорных и регулирующих устройств на воздуховодах применяются шиберы, клапаны (заслонки) и направляющие аппараты. В воздуховодах, расположенных в труднодоступных местах, используют клапаны с механическим приводом и дистанционным управлением. На воздуховодах систем общего назначения клапаны устанавливаются:

- на ответвлениях, которые требуют выключения или регулирования подачи (отсоса) воздуха в процессе эксплуатации;
- перед всеми воздухораздаточными и воздухоприемными устройствами, которые не имеют в своей конструкции регулирующих и закрывающих устройств;
- у всех местных отсосов.

Конструкция лючков с заглушками приведена на рис. 4.1, а схема вентиляционной системы с лючками для замеров давлений воздуха - на рис. 4.2.

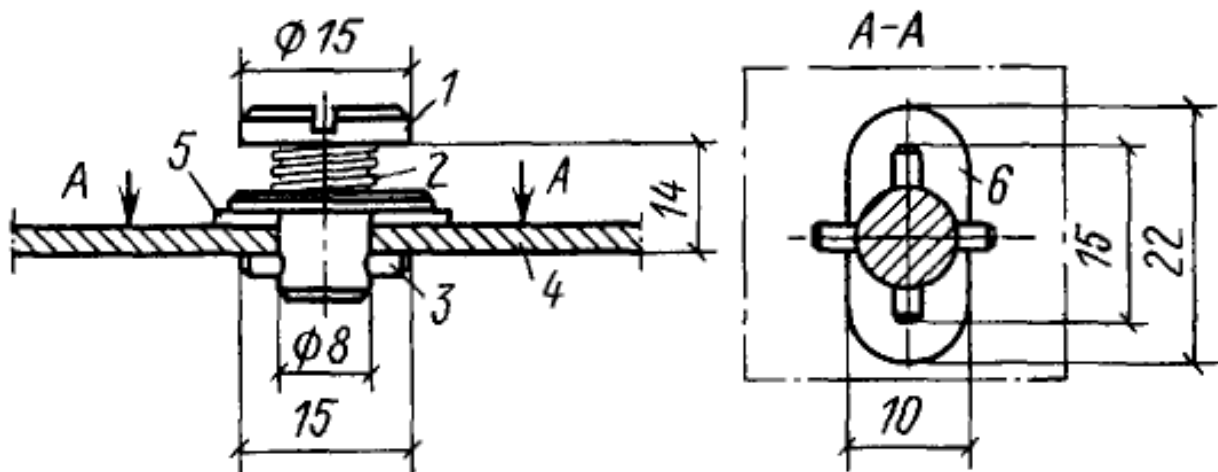


Рис. 4.1. Лючки с заглушками для измерения давлений и температур воздуха в металлических воздуховодах:

- 1 - палец-заглушка; 2 - пружина; 3 - фиксатор; 4 - стенка воздуховода;
5 - прокладка; 6 – лючок

Гидравлический расчет воздуховодов должен производиться так, чтобы неувязка потерь давления по отдельным ветвям воздуховодов не превышала 10%; при большей неувязке требуется применение дросселирующих устройств.

На ответвлениях устанавливают диафрагмы из тонколистовой стали для начального регулирования при наладке. На всех выбросных шахтах следует применять двухпозиционные клапаны. В шахтах систем горячих цехов с непрерывным процессом производства клапаны можно не ставить. В системах аспирации и пневмотранспорта установка дросселирующих

клапанов не допускается. Для полного отключения местных отсосов за ними на вертикальных участках рекомендуется устанавливать косые шибберы. В местах возможного засорения воздухопроводов (за отводами) и на прямых участках через 15 м устраивают смотровые лючки.

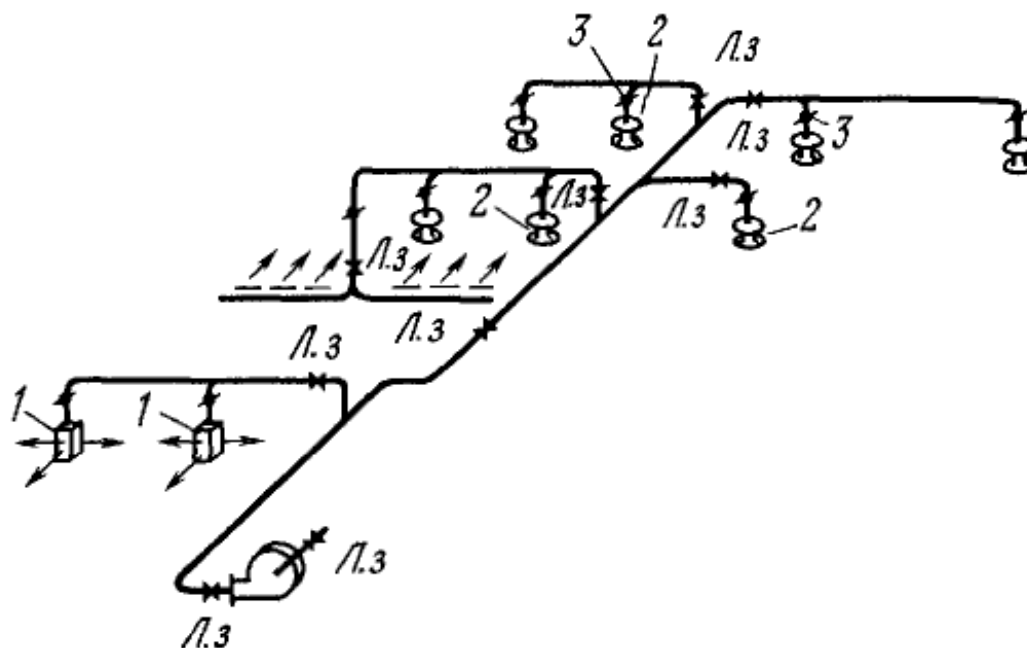


Рис. 4.2. Схема вентиляционной системы с лючками для замера давлений воздуха:

1- приточные насадки; 2 - то же, тарельчатого типа; 3 - дроссель-клапан;
Л.з.- лючок с заглушкой

Для измерений, связанных с регулированием и наладкой смонтированных систем, предусматривают специальные лючки с заглушками (рис. 4.1). Лючки с заглушками следует размещать на прямолинейных участках воздухопроводов на расстоянии не менее $4d$ за ближайшим местным сопротивлением, но не менее $2d$ до последующего по движению воздуха местного сопротивления, создающего возмущение потока. Для прямоугольных воздухопроводов $d = 1,13\sqrt{f}$, где \sqrt{f} - площадь поперечного сечения воздухопровода, m^2 .

Как правило, лючки с заглушками (рис. 4.2) должны размещаться:

- до и после вентиляторов, циклонов, скрубберов и фильтров;
- у основания каждой ветви, примыкающей к распределительному или сборному магистральному воздухопроводу при числе воздуховыпускных или воздухоприемных устройств на ветви более двух;
- на ветвях приточных систем: по числу патрубков, недоступных для замеров анемометром, минус один и по числу групп воздуховыпускных устройств, в которых скорости могут быть замерены анемометрами;

- на ветвях вытяжных систем: по числу местных отсосов, недоступных для замеров анемометром, минус один и по одному лючку на каждую группу однотипных местных отсосов (вытяжных шкафов, зонтов и т.п.), доступных для замеров анемометром.

4.2. Установки приточной и вытяжной вентиляции

4.2.1. Общие положения

При компоновке вентиляционных камер необходимо предусматривать возможность монтажа и демонтажа оборудования и удобство его обслуживания. Размеры проходов, а также дверных и монтажных проемов в камерах должны приниматься с учетом габаритов оборудования. Проходы для обслуживания оборудования должны быть шириной не менее 0,7 м.

Радиальные вентиляторы приточных и вытяжных систем, как правило, устанавливают на виброоснованиях с пружинными виброизоляторами.

Компоновка камеры приточной вентиляции приведена на рис. 4.3.

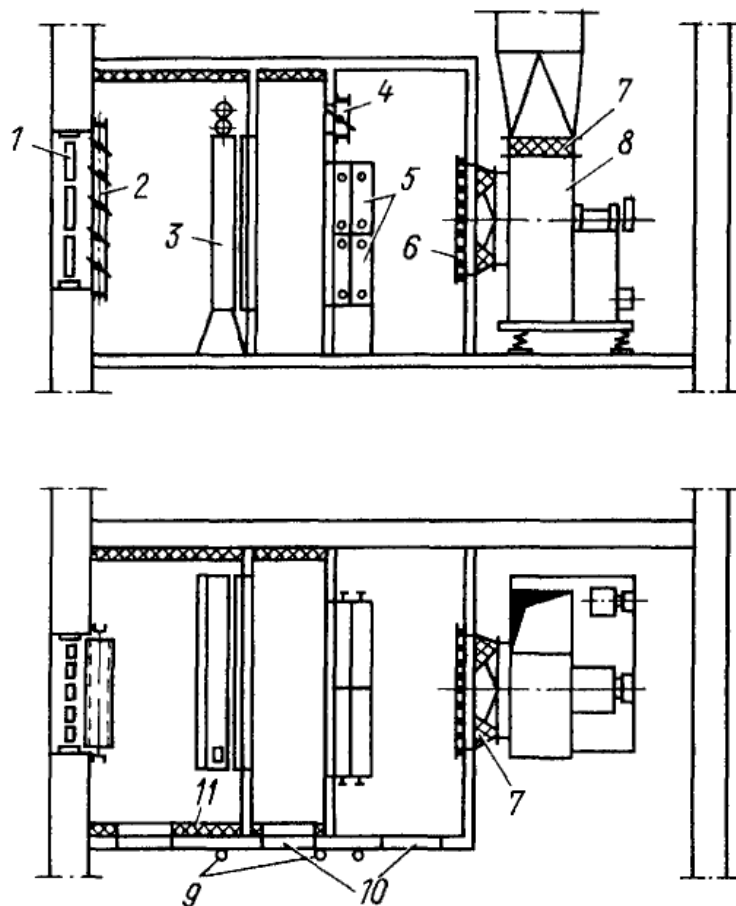


Рис. 4.3. Компоновка приточной камеры:

- 1 - неподвижные жалюзийные решетки; 2 - утепленный клапан; 3 - самоочищающийся масляный фильтр; 4 - обводной канал; 5 - калориферы; 6 - предохранительная решетка; 7 - мягкие вставки; 8 - вентилятор; 9 - патрубки с заглушками; 10 - герметические двери; 11 - тепловая изоляция

Без виброоснований вентиляторы устанавливают только на бетонных фундаментах непосредственно на грунте в помещениях с производственным шумом 70 дБ и более. В зданиях с повышенными требованиями к уровню шума (театры, кинозалы и т.п.) вентиляторы следует устанавливать на виброоснования и при расположении их на бетонных фундаментах на грунте.

При установке вентиляторов на виброоснованиях обязательно применение мягких вставок на всасывающем и нагнетательном патрубках вентиляторов. Вставки делают из резины, прорезиненной ткани и стеклоткани. При установке вентиляторов без виброоснований мягкие вставки необходимы при соединении с воздуховодами из строительных материалов (кирпич, бетон), кроме того, их применяют для предотвращения распространения шума по воздуховодам.

Установка мягких вставок в системах аспирации и пневмотранспорта древесных отходов нежелательна. В этих случаях вентиляторы аспирационных и пневмотранспортных установок ставят без виброоснований. Для уменьшения шума вентиляторы рекомендуется выносить за пределы рабочих помещений.

При заборе воздуха вентилятором непосредственно из рабочего помещения или отсека бетонной или кирпичной камеры на всасывающем отверстии вентилятора устанавливают предохранительную решетку (рис. 4.3).

При транспортировании воздуха с повышенной влажностью, а также при установке вентилятора после мокрой очистки воздуха в нижней точке вентилятора необходимо предусматривать устройства дренажа с установкой сифона $d = 25$ мм.

4.2.2. Установки приточной вентиляции

Приточные установки могут выполняться по различным технологическим и конструктивным схемам с очисткой и без очистки воздуха от пыли. Как правило, следует применять типовые приточные камеры, собираемые из отдельных секций, изготавливаемых на заводах или в центральных заготовительных мастерских (ЦЗМ) по типовому проекту ГПИ Сантехпроект 5.904-12. Пример компоновки нетиповой приточной камеры приведен на рис. 4.3.

Воздухозаборные отверстия воздухозабора для предохранения от попадания в установки дождя и снега закрывают неподвижными жалюзийными штампованными металлическими решетками. После решеток устанавливают утепленные многостворчатые клапаны с ручным и механическим приводом (последний блокируется с пусковыми приспособле-

ниями вентилятора). Для предохранения створок от смерзания используют клапаны с электроподогревом.

Клапаны с подогревом применяют: при автоматическом и дистанционном управлении камерой в районах с расчетной температурой ниже -10°C ; при обслуживании камерой, расположенной в верхней части здания влажных помещений; при переключении камеры в нерабочее время на рециркуляцию. Начинать подогрев следует за 10-20 мин до открытия клапана и заканчивать с пуском вентиляционной системы.

Допускается объединять одной воздухозаборной шахтой вентиляционные системы, обслуживающие однохарактерные помещения. Нельзя объединять системы, обслуживающие взрывоопасные помещения, а также помещения, имеющие газо-, пылевыделения и выделения с резкими запахами. При общей воздухозаборной шахте для каждой системы устанавливают отдельный утепленный клапан.

Скорость воздуха в живом сечении воздухозаборных решеток и утепленных клапанов при расположении против них масляных самоочищающихся фильтров принимают не более 4 м/с, при отсутствии фильтров - до 6 м/с. Скорость воздуха в воздухозаборных шахтах должна составлять 4-6 м/с.

Приточный воздух очищают с помощью фильтров. Самоочищающиеся фильтры следует устанавливать так, чтобы воздух, набегая на поднимающиеся шторки, выходил со стороны опускающихся створок. Обслуживание фильтров (промывка, смена масла) должно производиться со стороны входа неочищенного воздуха, т.е. с загрязненной стороны камеры. Фильтры для вторичной тонкой очистки воздуха (например, ЛАИК, электрофильтры и др.) устанавливают после нагревателей воздуха, а при очень высоких требованиях к чистоте воздуха - и после вентиляторов. В приточных камерах, оборудованных ячейковыми фильтрами, следует предусматривать бачки для промывки фильтров в содовом растворе и для покрытия их маслом. Для промывки фильтров необходимы горячая вода и трап для спуска загрязненных вод.

При большом числе самоочищающихся фильтров целесообразно устраивать централизованную установку для смены и очистки масла. Для нагрева воздуха, как правило, применяют биметаллические и стальные пластинчатые калориферы, обогреваемые паром или водой.

При теплоносителе воде для первоначального регулирования могут устанавливаться обводные клапаны с ручным управлением. При определении размера обводного клапана исходят из условия: потеря давления в клапане при пропуске через него всего воздуха должна равняться потере давления в калориферах.

При теплоносителе паре для регулирования температуры воздуха необходимо устанавливать перед калориферами сдвоенные клапаны (ре-

гулируемые автоматически или вручную), которые при открывании обвода прикрывают проход воздуха через калорифер.

При теплоносителе воде для предупреждения замерзания воды в калориферах, нагревающих воздух с температурой - 3 °С и ниже, следует:

- скорость воды в трубках калориферов принимать не менее 0,12 м/с при расчетной температуре наружного воздуха по параметрам Б и при 0 °С;

- калориферы с вертикальными трубками устанавливать строго вертикально, а с горизонтальными - строго горизонтально во избежание скопления в них воздуха;

- калориферы соединять по прямоточно-перекрестной схеме: подавать теплоноситель в первый ряд калориферов по ходу воздуха и удалять из последнего ряда, хотя это в какой-то мере ухудшает теплоотдачу калориферов;

- тепловой поток выбранного калорифера принимать не превышающим расчетный более чем на 10%;

- во всех верхних точках обвязки калориферов (при теплоносителе воде) ставить воздухоотборники, а не воздушные краны.

При теплоносителе паре для предупреждения замерзания конденсата в калориферах, нагревающих воздух с температурой - 3 °С и ниже, тепловой поток выбранного калорифера устанавливать не превышающим расчетный более чем на 10% и предусматривать:

- установку конденсатоотводчиков не менее чем на 300 мм ниже патрубков калориферов, из которых стекает конденсат;

- удаление конденсата от конденсатоотводчиков самотеком до сборных баков;

- автоматическое прерывание вакуума внутри калориферов, возникающее в результате дросселирования подачи пара и его конденсации при температурах ниже 100 °С.

В северной строительно-климатической зоне для предупреждения замерзания воды в калориферах в дополнение к мерам защиты допускается при соответствующем обосновании применять калориферы для подогрева рециркуляционного воздуха (рис. 4.4, а), или устраивать обводной воздухопровод с калорифером (рис. 4.4, б) для частичного подогрева наружного воздуха перед поступлением его в основные калориферы системы.

Калориферные установки следует проектировать, составляя их из минимального числа калориферов с арматурой, обеспечивающей регулирование производительности по теплу.

При работе на теплоносителе воде необходимо предусматривать возможность независимого отключения и опорожнения отдельных калориферов, рядов или групп калориферов (на больших установках). В многорядных калориферных установках, работающих на паре, запорную ар-

матуру рекомендуется размещать так, чтобы можно было выключать отдельные ряды калориферов.

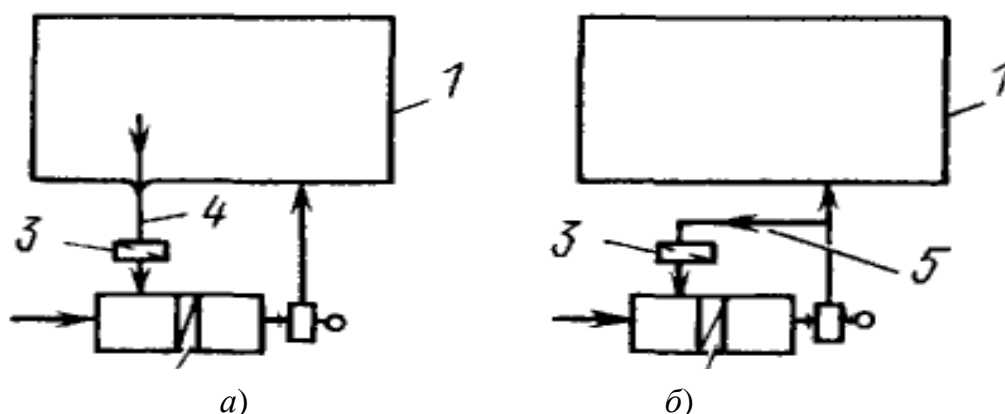


Рис. 4.4. Схемы приточной установки или кондиционера, работающих с частичной рециркуляцией воздуха (а) либо только на наружном воздухе (б):
1 - обслуживаемое помещение; 2 - основной калорифер; 3 - дополнительный калорифер; 4 - рециркуляционный воздуховод; 5 - обводной воздуховод

Для уменьшения шума, возникающего при работе в системах вентиляции, устанавливают глушители шума. Глушители выбирают в зависимости от частотной характеристики шума и его уровня и устанавливают на воздуховоде между вентилятором и помещениями. Для замера статических давлений воздуха при наладке систем в ограждениях камеры следует предусматривать заделку патрубков из труб диаметром 15 мм с заглушками. Патрубки должны размещаться до и после калориферов, фильтров и воздухоохладителей. Для систематического контроля за степенью загрязнения периодически очищаемых фильтров рекомендуется устанавливать стационарные У-образные манометры или микроманометры, соединяемые резиновыми трубками с камерой, до и после фильтров. При ручном регулировании системы на воздуховоде после вентилятора устанавливают термометр.

В проектах систем вентиляции и кондиционирования воздуха, разрабатываемых в полной увязке с проектами автоматического регулирования, должны предусматриваться:

- регулирующие клапаны на трубопроводах;
- клапаны для автоматического регулирования калориферов при теплоносителе паре следует устанавливать на трубопроводе, подводящем пар, а при теплоносителе воде - на трубопроводе обратной воды, за исключением случаев, когда максимальное полное давление в подающем трубопроводе (при закрытом клапане) может превышать допустимое по прочности давление воды в калориферах; в этом случае регулирующий клапан должен устанавливаться на подающем трубопроводе;
- штуцеры на трубопроводах и воздуховодах для установки датчиков;

- клапаны (заслонки) на воздуховодах;
- места для установки щитов автоматизации со свободным фронтом обслуживания перед ними не менее 1-1,5 м.

При расчете трубопроводов, подводящих тепло к калориферам приточных камер, необходимо учитывать, что давление в магистралях расходуеться меньше чем в ответвлениях к калориферам, а также то, что не менее 50% располагаемого давления на каждом регулируемом ответвлении должно расходоваться в регулирующих клапанах.

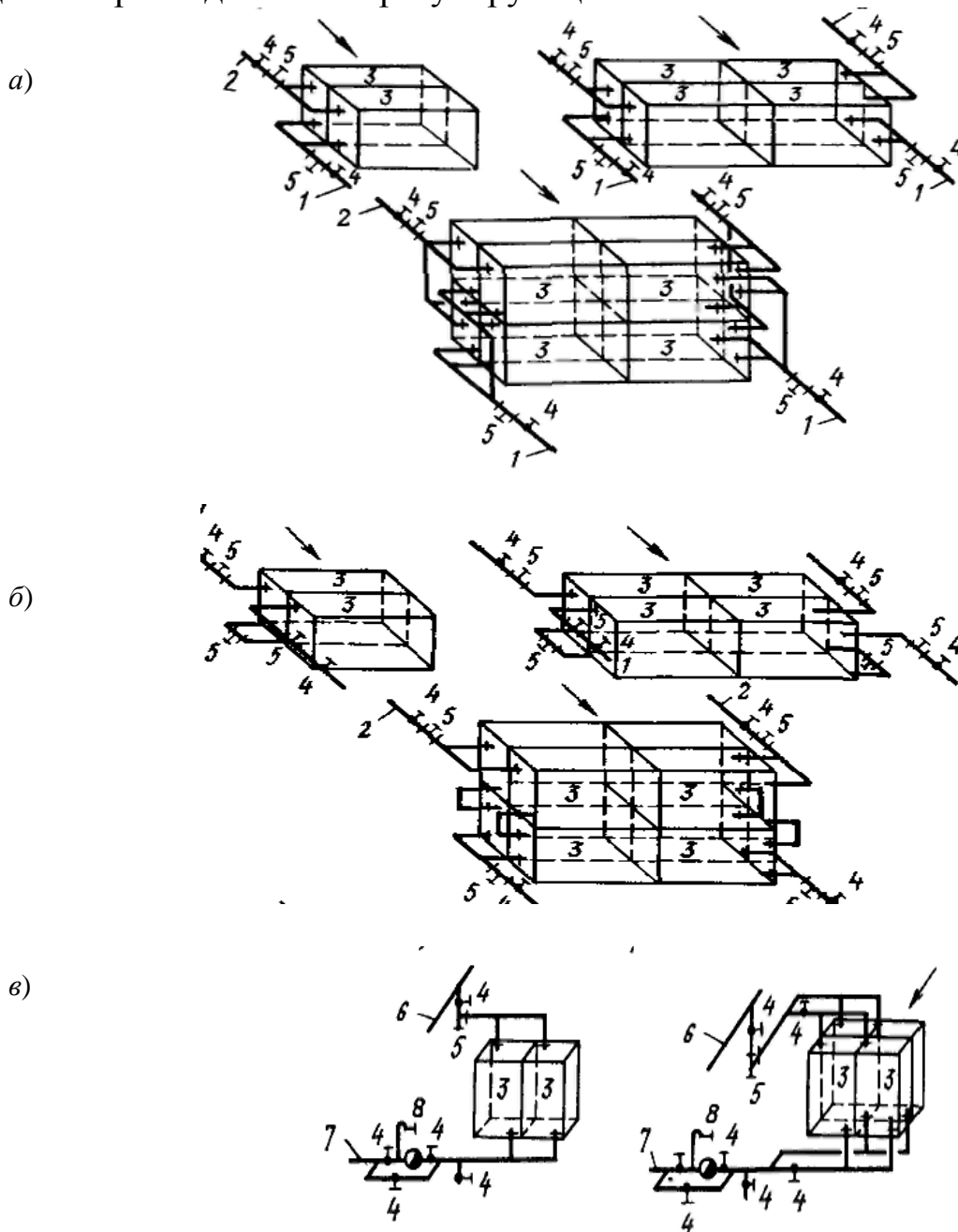


Рис. 4.5. Схемы подводов теплоносителя к калориферам:

а и *б* - параллельное и последовательное (соответственно) соединение многоходовых калориферов при теплоносителе воде, *в* - соединение калориферов при теплоносителе паре; 1 - горячая вода, 2 - обратная вода, 3 - калориферы, 4 - запорная арматура, 5 - тройники с пробками, 6 - пар, 7 - конденсат, 8 - конденсатоотводчики

Подвод теплоносителя к калориферам

Трубопроводы, питающие калориферные установки приточных камер (водоводы, паропроводы), как правило, не следует совмещать с трубопроводами: систем отопления, оборудуемых местными нагревательными приборами; водо- и пароподогревателей систем горячего водоснабжения; систем производственного назначения.

В одну систему рекомендуется объединять калориферные установки приточных камер, агрегаты воздушного отопления и калориферы воздушно-тепловых завес.

Многоходовые калориферы при теплоносителе воде в зависимости от располагаемого давления соединяют по теплоносителю параллельно и последовательно (рис. 4.5, *а* и *б*), а при теплоносителе паре только параллельно (рис. 4.5, *в*). Давление в системах, питающих калориферные установки паром или водой, не должно превышать давлений, обусловленных заводами-поставщиками.

4.2.3. Приточные вентиляционные камеры

Вентиляционные камеры 2ПК10-2ПК150 применяют в качестве вентиляционных и отопительно-вентиляционных установок без рециркуляции и с рециркуляцией воздуха. В них может очищаться, нагреваться и адиабатически обрабатываться воздух. В оросительной секции используют широкофакельные форсунки, создающие необходимое распыление воды. Применение таких форсунок позволяет осуществлять процессы адиабатической обработки воздуха до требуемой конечной температуры и относительной влажности 30-85%. В приточных вентиляционных камерах могут происходить также процессы сухого охлаждения воздуха, при этом в качестве поверхностного воздухоохладителя используется калориферная секция.

Камеры в зависимости от технологических требований к обработке воздуха могут быть выполнены либо с полным набором секций, либо без оросительной секции. Камеры могут быть левого и правого исполнения. Изготавливают их как в монтажных организациях, так и серийно на заводе. Транспортируют камеры в собранном виде, секционно или отдельными узлами и панелями.

4.2.4. Установки вытяжной вентиляции

Установки вытяжной механической вентиляции применяют двух типов: без очистки выбрасываемого воздуха и с очисткой воздуха перед его выбросом в атмосферу. К первым относятся установки общеобменной вентиляции, лишь в некоторых случаях обслуживающие местные отсосы;

ко вторым - установки, обслуживающие местные отсосы при большом содержании вредных веществ, и все установки систем аспирации и пневмотранспорта.

Если по характеру производства или по условиям безопасности труда перерыв в работе вытяжных вентиляционных установок недопустим, то для непрерывного поддержания требуемых условий воздушной среды должны предусматриваться резервные установки или обеспечиваться возможность временного использования систем вентиляции других помещений. Если допустимы перерывы в работе, достаточные для замены вышедшего из строя оборудования, то следует использовать запасное оборудование, хранящееся на складе. При необходимости глушения аэродинамического шума, создаваемого вентилятором, глушители устанавливаются на воздуховоде между вентилятором и помещениями.

Установка пылеуловителей

Все пылеуловители для очистки воздуха перед выбросом его в атмосферу, как правило, следует устанавливать до вентилятора, что предохраняет вентиляторы от преждевременного износа. Исключение составляют циклоны для улавливания древесных отходов в системах пневмотранспорта, которые обычно устанавливают (вне здания) после вентилятора. Рукавные фильтры устанавливают как до вентилятора, так и после него в зависимости от конструкции фильтра.

Пылеуловители при мокрых способах очистки воздуха монтируют в отапливаемых помещениях (кроме южных районов), при сухих способах - снаружи здания или в неотапливаемых помещениях. При очистке воздуха, содержащего одновременно пыль и влагу воздухопровод должен быть коротким для удобства очистки от налипающей пыли. Для этого пылеуловитель устанавливают непосредственно около места отсоса, соединяя его с отсасывающим кожухом прямым участком воздуховода.

Пылеуловители необходимо оборудовать герметическими бункерами с шлюзовыми затворами, не допускающими подсоса или выброса воздуха через разгрузочные отверстия при опорожнении пылеуловителей.

Удаление пыли из пылеуловителей

При мокром способе очистки воздуха уловленная пыль в виде шлама по трубам направляется в отстойники, откуда транспортируется в отвал. При сухом способе очистки для удаления пыли следует использовать транспортеры или другие устройства, направляя полученные отходы для дальнейшей обработки или в отвал.

При невозможности использования технологических средств уловленная пыль периодически удаляется транспортерами, гидро- и пневмотранспортом, автомашинами, электрокарами. В этом случае пылеотделители должны оборудоваться пылесборниками (бункерами). При удалении

пыли автомашинами или электрокарами под бункерами должен быть обеспечен свободный подъезд транспортных средств.

Устройство выбросов воздуха

Над выбросными шахтами для предохранения от попадания в них дождя и снега устанавливаются зонты. Зонты не следует ставить при круглосуточной работе вытяжной системы и мокрой очистке отсасываемого воздуха, а также при применении «факельных» выбросов. При большом числе вытяжных систем выбросные шахты отдельных систем можно объединять в общую шахту. Системы с местными отсосами, обслуживающие взрывоопасные помещения, содержащие вредные химические вещества и резкие запахи, не следует объединять общей шахтой с другими вытяжными системами.

4.3. Оборудование механической вентиляции

Вентиляторы

По принципу работы различают вентиляторы радиальные (центробежные) и осевые.

В зависимости от разности полных давлений, создаваемых при перемещении воздуха (при плотности воздуха на входе в вентилятор $1,2 \text{ кг/м}^3$), радиальные вентиляторы делят на следующие группы: низкого давления – до 1000 Па; среднего давления - от 1000 до 3000 Па; высокого давления - от 3000 до 12000 Па.

Радиальные вентиляторы одностороннего и двустороннего всасывания правого вращения имеют колесо, вращающееся (если смотреть на вентилятор со стороны всасывания) по часовой стрелке, а левого - колесо, вращающееся против часовой стрелки.

Положения кожухов радиальных вентиляторов определяются углом поворота корпуса относительно исходных положений. Углы отсчитываются по направлению вращения рабочего колеса (рис. 4.6).

Вентиляторы, как правило, приводят в действие электродвигателями, с которыми они соединяются одним из следующих способов:

- непосредственно на одном валу или через эластичную муфту;
- клиноременной передачей с постоянным передаточным отношением;
- регулируемой бесступенчатой передачей через гидравлические и индукторные муфты скольжения.

Схемы исполнений радиальных и осевых вентиляторов приведены в табл. 4.2.

В зависимости от состава перемещаемой среды вентиляторы изготавливают:

- обычного исполнения - для перемещения неагрессивных сред с температурой не выше $80 \text{ }^\circ\text{C}$, не содержащих липких веществ, при содер-

жании пыли и других твердых примесей не более 100 мг/м^3 , для вентиляторов двустороннего всасывания с расположением ременной передачи в перемещаемой среде температура перемещаемой среды не должна превышать $60 \text{ }^\circ\text{C}$;

- коррозионностойкие;
- взрывобезопасного исполнения;
- пылевые - для перемещения воздуха с содержанием пыли более 100 мг/м^3 .

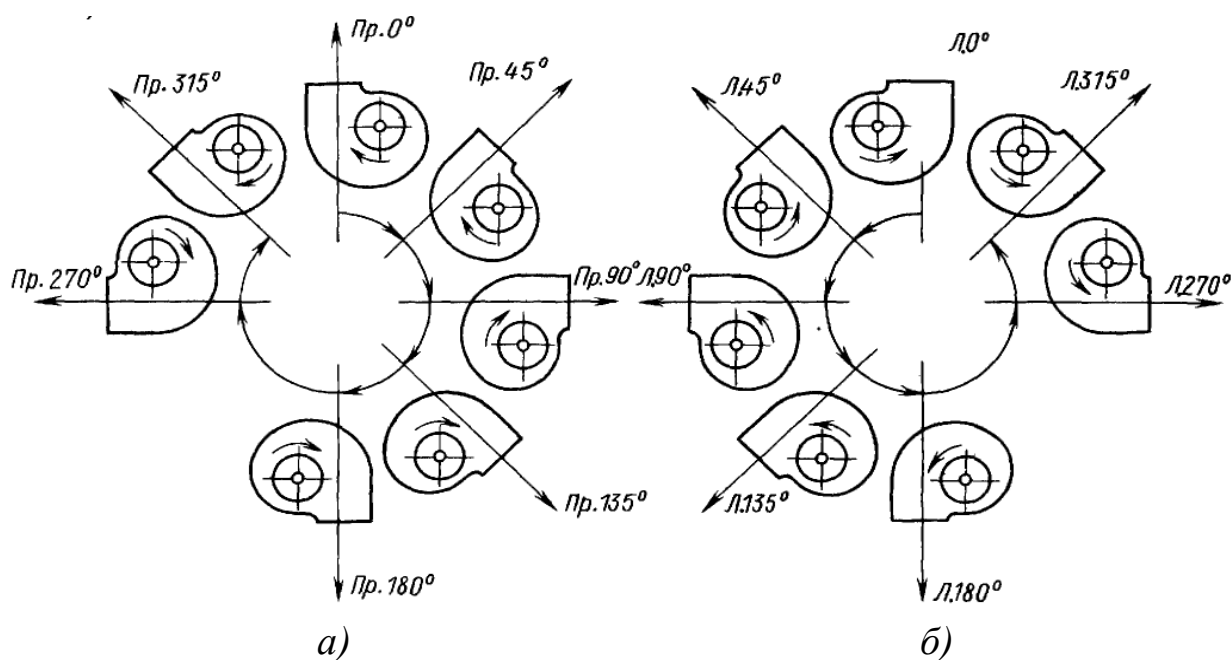


Рис. 4.6. Расположение корпусов радиальных вентиляторов правого (а) и левого (б) вращения

Коррозионно-стойкие вентиляторы; изготавливают из титана, нержавеющей стали, алюминия (для некоторых сред) и полимерных материалов (винипласт, полипропилен). В отдельных случаях можно применять вентиляторы, выполняемые из углеродистой стали с антикоррозионными покрытиями. Вентиляторы взрывобезопасного исполнения изготавливают в соответствии с техническими условиями.

Для перемещения смесей, взрывающихся от удара, вентиляторы применять нельзя. В этом случае используют эжекторы.

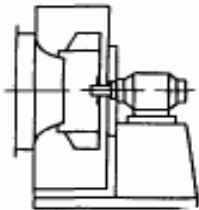
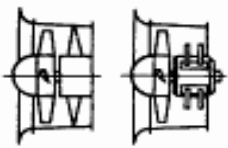
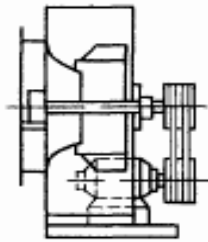
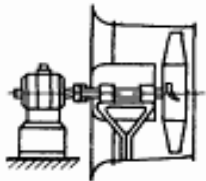
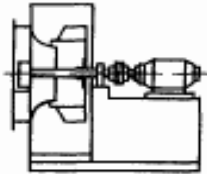
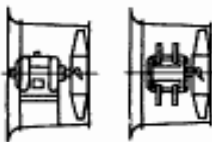
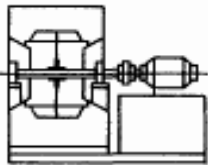
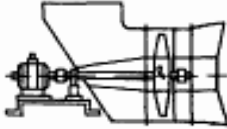
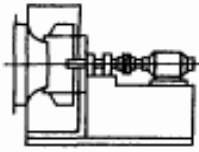
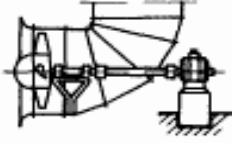
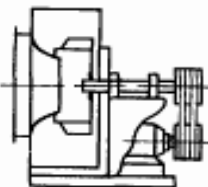
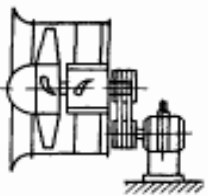
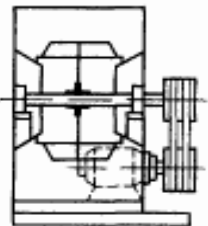
В аспирационных системах могут использоваться как шестилопастные, так и многолопастные вентиляторы среднего или высокого давления, устанавливаемые до и после пылеуловителя.

Для удаления воздуха из верхней зоны помещения устанавливают крышные осевые и радиальные вентиляторы. При транспортировании липкой, волокнистой и цементирующей пыли крышные вентиляторы применять запрещается. При повышенных требованиях к бесшумности

следует отдавать предпочтение радиальным крышным вентиляторам. Осевые крышные вентиляторы, как правило применяют для удаления воздуха с температурой до 40 °С при общеобменной вытяжной вентиляции, а также при необходимости направить удаляемый воздух сосредоточенной струей вверх.

Таблица 4.2

Схемы исполнения радиальных и осевых вентиляторов

Радиальные	Осевые	Радиальные	Осевые
Исполнение 1 	Исполнение 1 и 1а 	Исполнение 4 	Исполнение 4 
Исполнение 2 	Исполнение 2 и 2а 	Исполнение 5 	Исполнение 5 
Исполнение 3 	Исполнение 3 	Исполнение 6 	Исполнение 6 
		Исполнение 7 	

5. РАСЧЕТ ВОЗДУХОВОДОВ И ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ КАНАЛОВ

Воздуховоды и каналы необходимо проектировать в соответствии с требованиями СНиП, учитывая возможности максимальной индустриализации строительно-монтажных работ и применение при этом сборных конструкций из унифицированных деталей, изготавливаемых на заводах или в заготовительных мастерских. При проектировании воздуховодов и каналов для зданий и сооружений, отнесенных по пожарной опасности к категориям А, Б, В и Е, следует дополнительно учитывать требования соответствующих нормативных документов.

5.1. Размеры и масса воздуховодов

Размеры круглых и прямоугольных стальных воздуховодов надлежит принимать по табл. 5.1, табл. 5.2, круглых воздуховодов из винипласта - по табл. 5.3.

Таблица 5.1

Нормируемые размеры круглых воздуховодов из листовой стали

d , мм	Площадь поперечного сечения, м ²	Периметр, мм	Площадь поверхности 1 м, м ²
100	0,0079	314	0,314
125	0,0123	392	0,392
160	0,02	502	0,502
200	0,0314	628	0,628
250	0,049	785	0,785
315	0,0615	879	0,879
355	0,099	1115	1,115
400	0,126	1256	1,26
450	0,159	1413	1,41
500	0,96	1570	1,57
560	0,246	1760	1,76
630	0,312	1978	1,98
710	0,396	2230	2,23
800	0,501	2512	2,51
900	0,635	2830	2,83
1000	0,785	3140	3,14
1120	0,985	3520	3,52
1250	1,23	3930	3,93
1400	1,54	4400	4,4
1600	2,01	5030	5,03
1800	2,54	5652	5,65
2000	3,14	6280	6,28

Примечание: 1. В качестве нормируемых размеров допускается принимать наружные размеры поперечного сечения воздуховода, указанные в табл. 5.2.

Толщину чистовой стали для воздуховодов, по которым перемещается воздух с температурой не выше 80 °С, диаметром до 200, 250 450, 500-800, 900-1250, 1400-1600, 1800-2000 мм, следует принимать соответственно 0,5, 0,6, 0,7, 1,0, 1,2, 1,4 мм.

Для изготовления воздуховодов, по которым предусматривается перемещение воздуха с температурой более 80°С или воздуха с механическими примесями, а также для воздуховодов, требующих обработки поверхности перед антикоррозийной защитой, допускается применять листовую сталь толщиной до 1,5 мм Для воздуховодов, по которым предусматривается перемещение абразивной пыли, толщина стали должна быть обоснована.

Таблица 5.2

Нормируемые размеры прямоугольных воздуховодов из листовой стали

Внутренний размер, мм	Площадь поперечного сечения м ²	Периметр, мм	Площадь поверхности 1 м, м ²	Внутренний размер, мм	Площадь поперечного сечения, м ²	Периметр, мм	Площадь поверхности 1 м, м ²
100 x 150	0,015	500	0,5	600 x 600	0,36	2400	2,4
150 x 150	0,0225	600	0,6	600 x 800	0,48	2800	2,8
150 x 250	0,0375	800	0,8	600 x 1000	0,6	3200	3,2
150 x 300	0,045	900	0,9	600 x 1250	0,75	3700	3,7
250 x 250	0,0625	1000	1,0	800 x 800	0,64	3200	3,2
250 x 300	0,075	1100	1,1	800 x 1000	0,8	3600	3,6
250 x 400	0,1	1300	1,3	800 x 1200	0,96	4000	4,0
250 x 500	0,125	1500	1,5	800 x 1600	1,28	4800	4,8
400 x 400	0,16	1600	1,6	1000 x 1000	1,0	4000	4,0
400 x 500	0,2	1800	1,8	1000 x 1250	1,25	4500	4,5
400 x 600	0,24	2000	2,0	1000 x 1600	1,6	5200	5,2
400 x 800	0,32	2400	2,4	1000 x 2000	2,9	6000	6,0
500 x 500	0,25	2000	2,0	1250 x 1250	1,56	5000	5,0
500 x 600	0,3	2200	2,2	1250 x 3600	2,0	5700	5,7
500 x 800	0,4	2600	2,6	1250 x 2000	2,5	6500	6,5
500 x 1000	0,5	3000	3,0	1600 x 1600	2,56	6400	6,4
-	-	-	-	1600 x 2000	3,2	7200	7,2

Примечание: толщину листовой стали для воздуховодов прямоугольного сечения рекомендуется принимать в зависимости от размеров большей стороны, мм: до 250 включ. - 0,5; 300-1000 - 0,7; 1250-2000 » - 0,9.

Таблица 5.3

Размеры и масса круглых воздуховодов из винипласта

d , мм	Площадь поперечного сечения, м ²	Периметр, мм	Площадь поверхности 1 м, м ²	Масса, кг. 1 м воздуховода из винипласта толщиной, мм		
				2	3	4
160	0,0201	502	0,502	1,39	-	-
200	0,0314	628	0,628	1,74	-	-
250	0,0491	785	0,785	-	3,26	-
315	0,078	989	0,989	-	4,12	-
400	0,126	1256	1,26	-	-	6,98
500	0,196	1570	1,57	-	-	8,73
630	0,312	1978	1,98	-	-	11,02
800	0,503	2512	2,51	-	-	14,06

5.2. Расчет воздуховодов приточных и вытяжных систем вентиляции

Системы вентиляции общего назначения служат для подачи и удаления незапыленного воздуха с температурой до 80°C.

Общие потери давления, Па, в сети воздуховодов для стандартного воздуха ($t = 20^{\circ}\text{C}$ и $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$) определяются по формуле

$$p = \Sigma (Rl+z), \quad (5.1)$$

где R - потери давления на трение на расчетном участке сети, Па, на 1 м; l - длина участка воздуховода, м, z - потери давления на местные сопротивления на расчетном участке сети, Па.

Потери давления на трение R , Па, на 1 м в круглых воздуховодах определяют по формуле

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho v^2}{2}, \quad (5.2)$$

где λ - коэффициент сопротивления трения, d - диаметр воздуховода, м, v - скорость движения воздуха в воздуховоде, м/с; ρ - плотность воздуха, перемещаемого по воздуховоду, кг/м³; $\rho v^2/2$ - скоростное (динамическое) давление, Па.

Коэффициент сопротивления рассчитывается по формуле Альтшуля

$$\lambda = 0.11 (K_3 / d + 68/\text{Re})^{0.25}, \quad (5.3)$$

где K - абсолютная эквивалентная шероховатость поверхности воздуховода из листовой стали, равная 0.1 мм; d - диаметр воздуховода, мм,

Re - число Рейнольдса. Потери давления z , Па, на местные сопротивления определяются по формуле

$$z = \sum \zeta \frac{\rho v^2}{2}, \quad (5.4)$$

где $\sum \zeta$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке воздухопровода. Расчет металлических воздухопроводов круглого сечения по вышеизложенной методике приведен в табл. 5.6.

Скорости движения воздуха, допускаемые в воздухопроводах, приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Скорости движения воздуха, допускаемые в воздухопроводах

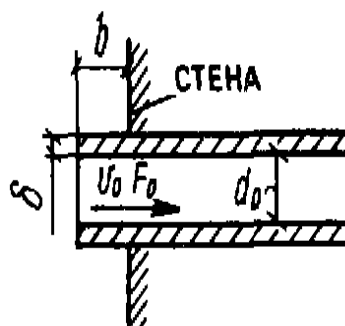
Элемент системы	v_B , м/с
Механическое побуждение	
Воздуховоды о производственных зданиях:	
- магистральные	до 12
- ответвления	— 6
Воздуховоды в общественных и вспомогательных зданиях:	
- магистральные	до 8
- ответвления	— 5

Значения коэффициентов местных сопротивлений деталей приточных и вытяжных систем приведены в табл. 5.5 – табл. 5.23.

Таблица 5.5

Значения ζ_0 цилиндрической трубы, заделанной в стену

δ/d_0	Значения ζ_0 при δ/d_0						
	0	0,002	0,01	0,05	0,2	0,5	1
0	0,5	0,57	0,68	0,8	0,92	1	0,94
0,02 и более	0,5	0,51	0,52	0,65	0,66	0,72	0,72



Примечание: значение ζ_0 соответствует скорости в трубе v_0 .

Таблица 5.6

Расчет металлических воздуховодов круглого сечения (первая строка – количество воздуха, м³/ч; вторая строка - потери давления на трение на 1 м длины воздуховода, кгс/м² (внутренние диаметры 100-400 мм))

v ² v/2g, кг/м ²	v, м/с	Количество воздуха в м ³ /ч (числитель) и сопротивление трения в кг/м ² на 1 пог. м воздуховода (знаменатель) при внутренних диаметрах в мм												
		100	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,0006	0,1	2,8	3,4	4,42	5,64	7,2	9,2	11,3	14,3	18	22	28	36	45
		0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
0,0024	0,2	5,6	6,8	8,8	11,1	14,5	18,3	22,6	28,6	35	44	55	71	90
		0,001	0,001	0,001	0,0008	0,0007	0,0006	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003
0,0055	0,3	8,4	10,2	13,3	16,6	21,7	27,5	33,9	42,9	53	66	84	107	136
		0,003	0,002	0,02	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0008	0,0007	0,0006	0,0003
0,0098	0,4	11,3	13,7	17,7	22,1	28,9	36,6	45,2	57,2	71	89	112	142	181
		0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,0009
0,0153	0,5	14,1	17,1	22,1	22,7	36,2	45,8	56,5	71,5	88	111	140	178	236
		0,006	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
0,022	0,6	16,9	20,5	26,5	33,2	43,4	54,9	67,8	85,8	106	133	168	214	271
		0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
0,03	0,7	19,8	23,9	30,9	38,8	50,6	64,1	79,1	100	124	155	196	249	317
		0,012	0,010	0,009	0,008	0,006	0,006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002
0,0391	0,8	23	27	35	45	60	75	90	115	140	175	225	285	360
		0,0145	0,0129	0,011	0,0095	0,008	0,0069	0,006	0,0052	0,0046	0,004	0,0034	0,0029	0,0025
0,0495	0,9	25,4	30,8	39,7	49,8	65,1	82,4	102	129	153	199	232	321	407
		0,018	0,016	0,014	0,012	0,01	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003
0,0612	1	28,3	34,2	44,2	56,4	72,3	91,6	113	143	177	222	280	356	452
		0,022	0,019	0,017	0,014	0,012	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004
0,074	1,1	31,1	37,6	48,6	60,9	79,8	101	124	157	194	244	308	392	497
		0,026	0,023	0,02	0,017	0,014	0,012	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005

Продолжение табл. 5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,0888	1,2	33,9	41	53	66,5	86,8	110	136	172	212	266	336	427	543
		0,03	0,027	0,023	0,2	0,017	0,015	0,013	0,011	0,01	0,008	0,007	0,006	0,005
0,108	1,3	36,7	44,4	57,4	72	94	119	147	186	230	288	365	453	588
		0,035	0,031	0,026	0,023	0,019	0,017	0,015	0,013	0,011	0,01	0,008	0,007	0,006
0,12	1,4	39,6	47,9	61,8	77,5	101	128	158	200	247	310	393	499	633
		0,04	0,035	0,03	0,026	0,022	0,019	0,017	0,014	0,013	0,011	0,009	0,008	0,007
0,138	1,5	42,4	51,3	66,2	83,1	109	137	170	215	265	332	421	534	673
		0,045	0,04	0,034	0,03	0,025	0,022	0,019	0,016	0,014	0,012	0,011	0,009	0,008
0,167	1,6	46,2	54,7	70,6	88,6	116	147	181	229	283	354	449	570	723
		0,051	0,45	0,038	0,033	0,028	0,024	0,021	0,018	0,016	0,014	0,012	0,01	0,009
0,177	1,7	48	58,1	75,1	94,2	123	156	192	243	300	377	447	605	768
		0,056	0,05	0,043	0,037	0,031	0,027	0,024	0,02	0,018	0,018	0,013	0,012	0,01
0,196	1,8	30,9	61,5	79,5	99,7	130	166	204	208	318	399	505	641	814
		0,062	0,055	0,047	0,041	0,035	0,03	0,026	0,023	0,02	0,017	0,015	0,013	0,011
0,221	1,9	53,7	65	83,9	106	137	174	215	272	336	421	533	677	859
		0,069	0,061	0,052	0,045	0,038	0,033	0,029	0,025	0,022	0,019	0,016	0,014	0,012
0,246	2	56,5	68,4	88,3	111	145	183	236	286	353	443	561	712	904
		0,075	0,067	0,057	0,049	0,042	0,036	0,032	0,027	0,024	0,021	0,018	0,015	0,013
0,27	2,1	59,3	71,8	92,7	116	162	19	237	300	371	465	589	748	950
		0,082	0,73	0,062	0,054	0,046	0,039	0,034	0,03	0,026	0,023	0,02	0,017	0,015
0,296	2,2	62,2	46,2	97,1	122	169	201	249	315	389	487	617	734	995
		0,089	0,079	0,068	0,59	0,05	0,043	0,037	0,032	0,028	0,025	0,021	0,019	0,016
0,324	2,3	65	78,6	101	127	166	211	260	329	406	510	645	819	1040
		0,097	0,086	0,073	0,063	0,054	0,046	0,041	0,035	0,031	0,027	0,023	0,02	0,017
0,362	2,4	67,8	82,1	106	134	174	220	271	343	424	532	673	865	1085
		0,104	0,093	0,079	0,068	0,058	0,05	0,044	0,038	0,033	0,029	0,025	0,021	0,018
0,382	2,5	70,6	85,5	110,4	139	181	229	282	358	442	554	701	890	1170
		0,112	0,1	0,085	0,074	0,062	0,054	0,047	0,041	0,036	0,031	0,027	0,023	0,02

Продолжение табл. 5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,413	2,6	73,5	88,9	115	144	188	238	294	372	459	576	729	926	1176
		0,12	0,107	0,091	0,079	0,067	0,058	0,05	0,044	0,038	0,033	0,029	0,025	0,021
0,446	2,7	76,3	92,3	119	150	195	247	305	386	477	598	757	96	1221
		0,129	0,0114	0,098	0,085	0,072	0,062	0,054	0,47	0,041	0,036	0,031	0,026	0,023
0,48	2,8	79,1	95,7	124	155	203	256	317	401	495	620	785	997	1256
		0,138	0,122	0,104	0,09	0,076	0,066	0,057	0,05	0,044	0,038	0,033	0,028	0,024
0,514	2,9	81,9	99,2	128	161	210	256	328	415	512	643	813	1033	1311
		0,147	0,13	0,111	0,096	0,081	0,07	0,061	0,053	0,047	0,04	0,035	0,03	0,026
0,55	3,0	84,8	103	133	166	217	275	339	429	530	665	841	1068	1356
		0,156	0,138	0,118	0,102	0,087	0,075	0,065	0,057	0,05	0,043	0,037	0,032	0,028
0,588	3,1	87,6	106	137	172	224	284	350	444	548	687	869	1104	1402
		0,165	0,0147	0,125	0,109	0,092	0,8	0,069	0,06	0,053	0,046	0,039	0,034	0,03
0,626	3,2	90,4	109	141	177	231	293	362	458	565	709	897	1140	1447
		0,175	0,156	0,132	0,115	0,097	0,084	0,073	0,064	0,056	0,048	0,042	0,036	0,31
0,666	3,3	93,3	113	146	183	239	302	373	472	583	731	925	1175	1492
		0,185	0,164	0,14	0,122	0,103	0,089	0,078	0,067	0,059	0,051	0,044	0,038	0,033
0,707	3,4	96,1	116	150	188	246	311	384	486	601	753	953	1211	1537
		0,195	0,174	0,148	0,128	0,109	0,094	0,082	0,071	0,062	0,054	0,047	0,04	0,035
0,749	3,5	98,9	120	154	194	253	321	396	501	618	775	981	1247	1583
		0,206	0,183	0,156	0,135	0,114	0,099	0,086	0,075	0,066	0,057	0,049	0,042	0,036
0,783	3,6	102	123	159	199	260	330	407	515	636	798	1009	1282	1628
		0,216	0,193	0,164	0,142	0,12	0,104	0,091	0,079	0,069	0,06	0,052	0,045	0,038
0,837	3,7	106	127	163	205	268	339	418	529	654	80	1038	1318	1673
		0,228	0,202	0,173	0,15	0,127	0,109	0,096	0,83	0,73	0,63	0,054	0,047	0,04
0,883	3,8	107	130	168	211	275	348	430	544	671	842	1066	1353	1718
		0,239	0,212	0,181	0,157	0,132	0,115	0,1	0,087	0,076	0,066	0,057	0,049	0,042

Продолжение табл. 5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,93	3,9	110	133	172	216	282	357	441	558	689	864	1094	1389	1763
		0,251	0,223	0,19	0,165	0,139	0,12	0,105	0,09	0,08	0,069	0,06	0,052	0,044
0,979	4,0	113	137	177	222	289	366	452	572	706	886	112	1425	1809
		0,263	0,233	0,198	0,172	0,145	0,126	0,11	0,095	0,083	0,072	0,062	0,054	0,046
1,03	4,1	116	140	181	227	297	375	463	587	724	908	1150	1460	1854
		0,275	0,244	0,208	0,1080	0,153	0,1323	0,115	0,1	0,087	0,076	0,065	0,056	0,049
1,08	4,2	119	144	186	233	304	385	475	601	742	931	1178	1496	1899
		0,287	0,255	0,217	0,188	0,159	0,138	0,12	0,104	0,091	0,079	0,068	0,059	0,051
1,13	4,3	122	147	190	238	311	394	466	615	759	953	1206	1531	1944
		0,3	0,266	0,227	0,197	0,166	0,144	0,126	0,109	0,095	0,083	0,071	0,062	0,053
1,18	4,4	124	150	194	244	318	403	497	629	777	975	1234	1567	1990
		0,313	0,278	0,237	0,205	0,174	0,15	0,0131	0,113	0,099	0,087	0,075	0,064	0,055
1,24	4,5	127	154	199	249	326	412	509	644	795	997	1262	1603	2035
		0,326	0,289	0,247	0,214	0,181	0,156	0,137	0,118	0,104	0,09	0,078	0,067	0,058
1,29	4,6	130	157	203	255	333	421	520	658	812	1019	1290	1638	2080
		0,339	0,301	0,257	0,223	0,188	0,163	0,142	0,123	0,108	0,094	0,081	0,07	0,06
1,36	4,7	153	161	208	260	340	430	531	672	830	1041	1318	1647	2135
		0,353	0,313	0,267	0,232	0,196	0,169	0,148	0,128	0,112	0,097	0,084	0,072	0,062
1,41	4,8	136	164	212	266	347	440	543	687	848	1063	1346	1710	2170
		0,366	0,325	0,237	0,24	0,203	0,176	0,154	0,133	0,117	0,101	0,087	0,075	0,065
1,47	4,9	139	168	216	271	355	449	554	701	865	1086	1374	1745	2216
		0,381	0,338	0,288	0,25	0,211	0,183	0,16	0,138	0,121	0,106	0,091	,078	0,067
1,53	5,0	141	171	221	277	362	458	565	715	883	1108	1402	1781	2261
		0,395	0,35	0,299	0,259	0,219	0,189	0,165	0,143	0,126	0,109	0,094	0,081	0,07
1,59	5,1	144	184	225	283	369	467	577	730	901	1130	1430	1810	2306
		0,409	0,364	0,31	0,289	0,227	0,197	0,172	0,149	0,13	0,113	0,098	0,084	0,072

Продолжение табл.5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1,65	5,2	147	178	226	288	376	476	588	744	918	1152	1458	1852	2351
		0,424	0,377	0,321	0,279	0,236	0,204	0,178	0,154	0,135	0,117	0,101	0,087	0,075
1,72	5,3	150	181	234	294	383	485	599	758	936	1174	1486	1886	2396
		0,44	0,39	0,333	0,289	0,244	0,211	0,184	0,159	0,14	0,121	0,105	0,09	0,078
1,78	5,4	153	185	238	299	391	494	610	773	954	1196	1514	1923	2442
		0,455	0,404	0,344	0,299	0,253	0,218	1,191	0,165	0,145	0,126	0,108	0,093	0,08
1,85	5,5	155	190	245	305	400	505	620	785	970	1220	1540	1961)	2485
		0,423	0,376	0,38	0,278	0,235	0,205	0,1810	0,158	0,14	0,122	0,107	0,0927	0,0806
1,92	5,6	158	192	247	310	405	513	633	801	989	1241	1570	1994	2535
		0,486	0,432	0,368	0,319	0,27	0,233	0,204	0,176	0,156	0,134	0,118	0,1	0,086
1,99	5,7	161	195	252	316	412	522	644	815	1007	1363	1598	2030	2577
		0,502	0,446	0,38	0,33	0,279	0,241	0,21	0,182	0,16	0,139	0,12	0,103	0,089
2,06	5,8	164	198	256	321	420	531	656	830	1024	1285	1626	2066	2623
		0,519	0,46	0,392	0,341	0,288	0,249	0,217	0,188	0,165	0,143	0,124	0,107	0,092
2,13	5,9	167	202	251	327	427	540	667	844	1042	1307	1654	2101	2668
		0,536	0,475	0,405	0,351	0,297	0,257	0,224	0,194	0,17	0,148	0,128	0,11	0,085
2,2	6	170	205	265	330	435	550	680	860	1060	1330	1685	2140	2715
		0,493	0,437	0,373	0,323	0,275	0,24	0,212	0,185	0,164	0,143	0,125	0,109	0,0946
2,28	6,1	172	209	269	337	441	559	690	873	1071	1352	1711	2172	2758
		0,589	0,505	0,43	0,373	0,316	0,273	0,238	0,206	0,181	0,157	0,136	0,117	0,101
2,35	6,2	175	212	274	343	449	563	701	887	1085	1374	1739	2208	2803
		0,587	0,521	0,444	0,385	0,326	0,282	0,246	0,213	0,187	0,162	0,140	0,12	0,10
2,43	6,3	178	215	278	349	456	677	712	901	1113	1396	1761	2244	2849
		0,604	0,536	0,457	0,396	0,335	0,29	0,253	0,219	0,192	0,167	0,141	0,124	0,107
2,51	6,4	181	219	283	355	463	586	724	916	1130	1418	1795	2279	2894
		0,622	0,552	0,47	0,408	0,345	0,298	0,261	0,226	0,198	0,172	0,148	0,128	0,11

Продолжение табл.5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2,58	6,5	185	220	285	360	470	595	735	930	1150	1440	1825	2315	2940
		0,567	0,503	0,425	0,373	0,319	0,278	0,246	0,214	0,19	0,166	0,145	0,126	0,11
2,66	6,6	187	226	291	366	478	604	746	944	1166	1462	1851	2351	2984
		0,658	0,584	0,498	0,432	0,365	0,316	0,276	0,239	0,209	0,182	0,157	0,135	0,116
2,75	6,7	189	229	296	371	485	614	757	959	1183	1484	1879	2356	3029
		0,677	0,6	0,512	0,444	0,376	0,325	0,284	0,245	0,215	0,187	0,161	0,139	0,12
2,83	6,8	193	233	300	377	492	623	769	973	1201	1501	1907	2422	3075
		0,696	0,617	0,526	0,457	0,386	0,334	0,292	0,252	0,221	0,192	0,166	0,143	0,123
2,91	6,9	195	236	305	382	499	632	780	987	1219	1529	1935	2457	3120
		0,714	0,634	0,54	0,469	0,396	0,343	0,293	0,250	0,227	0,197	0,17	0,147	0,126
3	7	200	240	310	390	510	640	790	1000	1235	1550	1965	2495	3165
		0,645	0,573	0,493	0,427	0,365	0,319	0,282	0,246	0,217	0,19	0,166	0,144	0,125
3,08	7,1	201	242	314	39	514	65	802	1015	1254	1573	1991	2529	3210
		0,753	0,669	0,57	0,494	0,418	0,361	0,316	0,273	0,24	0,208	0,179	0,155	0,133
3,17	7,2	204	246	318	399	521	659	814	1030	1272	1595	2019	2564	3256
		0,773	0,686	0,585	0,508	0,429	0,371	0,324	0,281	0,246	0,214	0,184	0,159	0,137
3,26	7,3	206	250	322	404	528	668	825	1042	1289	1617	2047	2600	3301
		0,794	0,704	0,601	0,521	0,441	0,381	0,333	0,288	0,252	0,219	0,189	0,163	0,14
3,35	7,4	209	253	327	410	535	678	837	1059	1307	1640	2075	2635	3346
		0,814	0,722	0,616	0,534	0,452	0,39	0,341	0,295	0,259	0,225	0,194	0,167	0,144
3,44	7,5	210	255	330	415	540	685	850	1075	1325	1662	2100	2670	3390
		0,726	0,646	0,553	0,485	0,415	0,361	0,32	0,279	0,246	0,215	0,188	0,164	0,142
3,53	7,6	215	260	336	421	550	696	859	1087	1342	1684	2131	2707	3436
		0,855	0,759	0,647	0,561	0,475	0,41	0,359	0,31	0,272	0,236	0,204	0,175	0,151
3,63	7,7	218	26	340	427	557	705	870	1102	1360	1706	2159	2742	3482
		0,876	0,777	0,663	0,575	0,486	0,42	0,367	0,318	0,279	0,242	0,209	0,18	0,155

Продолжение табл.5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3,72	7,8	220	257	344	432	564	714	882	1116	1378	1728	2187	2778	3527
		0,897	0,796	0,678	0,589	0,498	0,43	0,376	0,325	0,285	0,248	0,214	0,18	0,159
3,82	7,9	223	270	349	438	572	723	838	1130	1395	1750	2215	2814	3572
		0,918	0,815	0,695	0,603	0,51	0,441	0,385	0,333	0,292	0,254	0,219	0,189	0,162
3,91	8	225	275	355	445	580	735	905	1145	1415	1775	2245	2850	3620
		0,815	0,723	0,623	0,545	0,467	0,407	0,36	0,14	0,277	0,243	0,212	0,184	0,16
4,01	8,1	229	277	358	449	586	742	916	1159	1431	1796	2271	2885	3662
		0,962	0,854	0,728	0,632	0,534	0,462	0,403	0,349	0,306	0,256	0,229	0,197	0,17
4,11	8,2	232	280	362	464	593	75	927	1173	1449	1817	2299	2920	3708
		0,984	0,874	0,745	0,646	0,547	0,472	0,413	0,357	0,313	0,272	0,235	0,202	0,174
4,21	8,3	235	284	367	460	601	76	938	1187	1466	1839	2327	2956	3753
		1,01	0,894	0,762	0,661	0,559	0,483	0,42	0,365	0,32	0,278	0,24	0,207	0,178
4,32	8,4	237	287	371	465	608	769	949	1202	1484	1861	2355	2992	3798
		1,03	0,914	0,779	0,676	0,572	0,494	0,432	0,374	0,327	0,284	0,245	0,211	0,182
4,42	8,5	240	290	375	470	615	775	960	1215	1500	1885	2385	3025	3845
		0,906	0,808	0,696	0,6	0,522	0,455	0,408	0,35	0,31	0,272	0,237	0,206	0,179
4,52	8,6	243	294	380	476	622	787	972	1230	1519	1905	2412	3063	3889
		1,08	0,955	0,814	0,706	0,597	0,516	0,451	0,39	0,342	,297	0,256	0,221	0,19
4,63	8,7	246	298	384	482	629	797	983	1245	1537	1928	2440	3098	3934
		1,1	0,976	0,832	0,722	0,61	0,527	0,461	0,399	0,35	0,303	0,262	0,226	0,194
4,74	8,8	249	301	389	487	637	806	995	1259	1654	1950	2468	3134	3979
		1,12	0,996	0,85	,737	0,623	0,539	0,471	0,407	0,357	0,31	0,268	0,231	0,198
4,84	8,9	252	304	393	493	644	815	1086	1273	1572	1972	2496	3170	4024
		1,15	1,02	0,898	0,753	0,637	0,551	0,481	0,416	0,365	0,317	0,273	0,236	0,203
4,95	9,0	255	310	400	500	650	825	1020	1290	1590	1995	2525	3205	4070
		1	0,897	0,773	0,677	0,579	0,505	0,447	0,389	0,344	0,302	0,263	0,229	0,199
5,07	9,1	257	311	402	504	658	833	1029	1302	1607	2016	2552	3241	4115
		1,2	1,06	0,905	0,785	0,664	0,574	0,501	0,434	0,38	0,33	0,285	0,243	0,211

Продолжение табл.5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5,18	9,2	200	315	406	510	666	842	1040	1316	1625	2038	2590	3277	4160
		1,22	1,08	0,0924	0,802	0,678	0,586	0,512	0,443	0,388	0,337	0,291	0,251	0,216
5,29	9,3	263	318	411	515	673	852	1051	1330	1643	2060	2608	3312	4205
		1,24	1,1	0,942	0,817	0,691	0,597	0,522	0,452	0,396	0,344	0,296	0,256	0,22
5,4	9,4	266	321	415	521	680	861	1063	1345	1660	2080	2636	3348	4250
		1,27	1,13	0,961	0,833	0,705	0,609	0,52	0,461	0,404	0,35	0,302	0,261	0,224
5,52	9,5	269	325	420	525	687	870	1074	1359	1678	2105	2664	3383	4296
		1,3	1,15	0,98	0,851	0,719	0,622	0,543	0,47	0,412	0,358	0,309	0,266	0,229
5,64	9,6	271	328	424	532	695	879	1085	1373	1696	2127	2692	3419	4341
		1,32	1,17	1	0,868	0,734	0,634	0,554	0,48	0,42	0,365	0,315	0,271	0,234
5,76	9,7	274	332	428	537	702	888	1097	1388	1713	2149	2720	3455	4386
		1,35	1,2	1,02	0,855	0,748	0,647	0,565	0,489	0,429	0,372	0,321	0,277	0,238
5,87	9,8	277	335	433	543	709	897	1108	1402	1731	2171	2748	3490	4431
		1,37	1,22	1,04	0,901	0,762	0,659	,576	0,498	0,47	0,379	0,327	0,282	0,243
5,99	9,9	280	339	437	548	716	906	1119	1416	1749	2193	2776	3526	4476
		1,4	1,24	1,06	0,918	0,777	0,671	0,586	0,507	0,445	0,386	0,333	0,287	0,247
6,12	10	285	340	440	555	725	915	1130	1430	1756	2215	2805	3565	4525
		1,28	1,09	0,937	0,821	0,703	0,613	0,542	0,472	0,418	0,366	0,319	0,277	0,241
6,24	10,1	285	345	446	559	731	925	1142	1445	1784	2238	2832	3597	4567
		1,45	1,29	1,1	0,964	0,807	0,697	0,609	0,527	0,462	0,401	0,346	0,298	0,257
6,26	10,2	288	349	450	565	738	934	1153	1459	1802	2250	2860	3633	4612
		1,48	1,31	1,12	0,972	0,822	0,711	0,621	0,537	0,471	0,409	0,353	0,304	0,262
6,49	10,3	291	352	455	571	745	943	1164	1474	1819	2282	2888	3658	4657
		1,51	1,34	1,14	0,99	0,837	0,723	0,632	0,547	0,48	0,416	0,359	0,31	0,267
6,62	10,4	294	356	459	576	752	952	1176	1488	1837	2304	2916	3704	4702
		1,54	1,36	1,16	1,01	0,853	0,737	0,644	,557	0,488	0,424	0,366	0,315	0,272
6,74	10,5	297	359	464	582	760	961	1187	1592	1855	2326	2944	3740	4748
		1,56	1,39	1,18	1,03	0,868	0,75	0,655	0,567	0,497	0,431	0,372	0,321	0,276

Продолжение табл.5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6,87	10,6	300	363	468	587	767	971	1198	1516	1872	2349	2972	3775	4793
		1,59	1,41	1,2	1,04	0,884	0,764	0,677	0,577	0,506	0,439	0,379	0,327	0,281
7	10,7	302	366	473	593	774	980	1209	1531	1890	2371	3000	3811	4838
		1,63	1,44	1,22	10,6	0,899	0,777	0,679	0,587	0,515	0,447	0,386	0,332	0,286
7,13	10,8	305	369	477	598	781	989	1221	1545	1908	2393	3028	3846	4883
		1,65	1,46	1,25	1,08	0,915	0,791	0,691	0,598	0,524	0,455	0,393	0,338	0,291
7,27	10,9	308	373	481	604	789	998	1232	1559	1925	2415	3056	3882	4929
		1,68	1,49	1,27	1,1	0,931	0,805	0,703	0,608	0,533	0,463	0,4	0,344	0,296
7,4	11	310	375	485	610	795	1010	1245	1575	1945	2440	3085	3920	4975
		1,45	1,3	1,12	0,978	0,837	0,729	0,645	0,562	0,497	0,436	0,38	0,33	0,287
7,54	11,1	314	380	490	615	803	1016	1255	1588	1961	2459	3113	3953	5019
		1,73	1,54	1,31	1,14	0,963	0,832	0,727	0,629	0,552	0,479	0,413	0,356	0,307
7,67	11,2	317	383	495	620	81	1026	1266	1602	1978	2841	3141	3989	5064
		1,76	1,57	1,34	1,16	0,98	0,847	0,74	0,64	0,561	0,487	0,42	0,362	0,312
7,81	11,3	319	386	498	626	817	1035	1277	1617	1996	2504	3169	4024	5109
		1,79	1,59	1,36	0,18	0,0996	0,861	0,75	0,651	0,57	0,495	0,427	0,368	0,317
7,95	11,4	322	390	503	631	825	1045	1289	1631	2014	2526	3197	4060	5155
		1,82	1,62	1,38	1,2	1,01	0,875	0,764	0,662	0,58	0,503	0,435	0,374	0,322
8,09	11,5	325	393	508	637	832	1053	1300	1646	2031	254	3225	4096	5200
		1,85	1,65	1,4	1,22	1,03	0,89	0,777	0,673	0,59	0,512	0,442	0,381	0,328
8,23	11,6	328	397	512	643	839	1062	1311	1660	2049	2570	3253	4131	5245
		1,88	1,67	1,43	1,24	1,05	0,904	0,79	0,684	0,6	0,52	0,449	0,387	0,333
8,37	11,7	331	400	517	648	846	1071	1323	1674	2067	2592	3281	4167	5290
		1,92	1,7	1,45	1,26	1,06	0,919	0,803	0,695	0,609	0,529	0,457	0,393	0,339
8,52	11,8	334	404	521	654	854	1080	1334	1688	2084	2614	3309	4203	5335
		1,95	1,73	1,47	1,28	1,08	0,934	0,816	0,706	0,619	0,537	0,467	0,399	0,344

Продолжение табл. 5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8,66	11,9	336	407	526	659	861	1090	1345	1702	2102	2637	3337	4237	5381
		1,98	1,76	1,5	1,3	1,1	0,949	0,829	0,717	0,629	0,546	0,471	0,406	0,35
8,81	12	340	410	530	665	870	1100	1355	1715	2120	2660	3365	4275	5430
		1,7	1,52	1,31	1,15	0,982	0,856	0,757	0,66	0,583	0,511	0,445	0,387	0,337
8,95	12,1	342	414	534	670	875	1108	1368	1731	2137	2681	3393	4309	5471
		2,04	1,81	1,54	1,34	1,13	0,979	0,855	0,74	0,649	0,563	0,486	0,419	0,361
9,1	12,2	345	417	539	676	883	1117	1379	1745	2155	2703	3421	4345	5516
		2,07	1,84	1,57	1,36	1,15	0,995	0,869	0,752	0,659	0,572	0,494	0,426	0,367
9,25	12,3	348	421	543	681	890	1126	1390	1760	2172	2725	3449	4381	5562
		2,1	1,87	1,59	1,38	1,17	1,01	0,882	0,764	0,669	0,581	0,502	0,432	0,372
9,4	12,4	350	424	548	687	897	1135	1402	1774	2190	2747	3477	4416	5607
		2,14	1,9	1,62	1,4	1,19	1,03	0,896	0,776	0,68	0,59	0,509	0,439	0,378
9,56	12,5	353	427	552	692	904	1144	1413	1788	2208	2769	3505	4452	5652
		2,17	1,93	1,64	1,42	1,2	1,04	0,0909	0,787	0,69	0,599	0,517	0,445	0,383
9,71	12,6	356	431	566	698	911	1154	1424	1803	2225	2792	3533	4487	5697
		2,2	1,95	1,67	1,45	1,22	1,06	0,923	0,799	0,7	0,608	0,525	0,42	0,389
9,86	12,7	359	434	561	703	919	1163	1436	1817	2243	2817	3561	4523	5742
		2,24	1,98	1,69	0,47	0,24	1,07	0,937	0,811	0,711	0,617	0,533	0,459	0,395
10,02	12,8	362	438	565	709	926	1172	1447	1831	2261	2836	3589	4559	5788
		2,27	2,01	1,72	1,49	1,26	1,09	0,951	0,823	0,722	0,626	0,541	0,466	0,401
10,18	12,9	364	441	570	714	933	1181	1458	1846	2278	2858	3617	4594	5833
		2,3	2,04	1,74	1,51	1,28	1,11	0,966	0,836	0,733	0,636	0,549	0,473	0,401
10,34	13	370	445	575	720	940	1190	1470	1860	2300	2880	3645	4630	5880
		1,97	1,76	1,52	1,33	1,14	0,991	0,876	0,764	0,675	0,592	0,516	0,449	0,39
10,5	13,1	370	448	578	726	948	1199	1481	1874	2314	2902	3673	4665	5923
		2,37	2,11	1,8	1,56	1,32	1,14	0,995	0,861	0,755	0,655	0,565	0,487	0,419
10,66	13,2	373	451	583	731	955	1209	1492	1888	2331	2925	3701	4701	5969
		2,41	2,14	1,82	1,58	1,34	1,15	1,01	0,873	0,765	0,664	0,573	0,494	0,425

Расчет металлических воздуховодов круглого сечения (первая строка – количество воздуха, м ³ /ч; вторая строка - потери давления на трение на 1 м длины воздуховода, кгс/м ² (внутренние диаметры 450-1600 мм))													
v ² v/2g, кГ/м ²	v, м/с	Количество воздуха в м ³ /ч (числитель) и сопротивление трения в кГ/м ² на 1 пог. м воздуховода (знаменатель) при внутренних диаметрах в мм											
		450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600
1	2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0,0006	0,1	57	71	89	112	142	181	229	283	364	442	554	723
		0,0001	0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0024	0,2	114	141	177	224	285	362	458	566	709	883	1108	1447
		0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	-	-
0,0055	0,3	172	212	287	336	427	543	687	848	1063	1325	1662	2170
		0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
0,0098	0,4	229	283	354	449	570	723	916	1130	1418	1756	2216	2894
		0,0007	0,0006	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
0,0153	0,5	285	355	445	560	715	905	1145	1415	1770	2210	2770	3620
		0,0009	0,0008	0,0007	0,0006	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
0,022	0,6	345	425	530	670	855	1085	1375	1695	2130	2650	3325	4940
		0,0013	0,0011	0,001	0,0008	0,0007	0,0006	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002
0,03	0,7	400	495	620	785	1000	1265	1600	1980	2480	3090	3880	5065
		4,0017	0,0015	0,0013	0,0011	0,0009	0,0008	0,0007	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0003
0,0391	0,8	450	565	710	900	1140	1445	1830	2260	2840	3535	4430	5790
		0,0022	0,0019	0,0016	0,0014	0,0012	0,0011	0,0009	0,0008	0,0007	0,0006	0,0005	0,0004
0,0495	0,9	515	635	800	1010	1280	1630	2060	2545	3190	3975	4990	6515
		0,0027	0,0023	0,002	0,0017	0,0015	0,0013	0,0011	0,001	0,0008	0,0007	0,0006	0,0005
0,0612	1	570	710	890	1120	1425	1810	2290	2825	3545	4415	5540	7235
		0,0022	0,0028	0,0024	0,0021	0,0018	0,0015	0,0013	0,0012	0,0011	0,0009	0,0008	0,0007
0,074	1,1	629	777	975	1254	1567	1990	2518	3109	3899	4857	6093	7568
		0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0008

Продолжение табл.5.6

1	2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0,0888	1,2	685	850	1055	1345	1710	2170	2750	3390	4255	5300	6650	8685
		0,0045	0,0039	0,0034	0,003	0,0025	0,0022	0,0019	0,0017	0,0015	0,0013	0,0011	0,001
0,103	1,3	744	918	1152	1458	1852	2351	2976	3674	4608	5740	7201	9405
		0,005	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
0,12	1,4	800	990	1240	1570	1995	2530	3200	3960	4965	6185	7755	10130
		0,0053	0,0051	0,0044	0,0038	0,0033	0,0029	0,0025	0,0022	0,0019	0,0017	0,0015	0,0013
0,138	1,5	858	1060	1329	1662	2137	2713	3434	4239	5317	6623	8308	10852
		0,007	0,006	0,005	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
0,167	1,6	915	1130	1420	1795	2280	2895	3664	4523	5675	7065	8865	11580
		0,0074	0,0065	0,0056	0,0049	0,0042	0,0037	0,0325	0,0028	0,0025	0,0028	0,00195	0,0016
0,177	1,7	973	1201	1507	1907	2422	3074	3891	4804	6026	7507	9416	12299
		0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
0,196	1,8	1030	1270	1595	2020	2565	3255	4120	5090	6385	7950	9975	13030
		0,0091	0,008	0,007	0,0061	0,0053	0,0046	0,00404	0,0035	0,0031	0,0027	0,0024	0,002
0,221	1,9	1087	1345	1684	2131	2707	3436	4349	5369	6735	8390	10524	13746
		0,01	0,008	0,007	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002
0,246	2	1145	1415	1775	2244	2850	3620	4580	5655	7090	8835	11080	14470
		0,011	0,0097	0,0085	0,0074	0,0064	0,0056	0,0049	0,0043	0,0038	0,0033	0,0029	0,0025
0,27	2,1	1202	1464	1861	2355	2992	3798	4807	5935	7444	9273	11632	15193
		0,013	0,011	0,01	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003
0,296	2,2	1259	1264	1985	2468	3134	3979	5036	6217	7799	9714	12196	15916
		0,014	0,012	0,01	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003
0,324	2,3	1316	1625	2038	2580	3277	4160	5265	6500	8153	10156	12739	16639
		0,015	0,013	0,011	0,01	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003
0,362	2,4	1373	1696	2127	2692	3419	4341	5494	6782	8508	10598	13293	17363
		0,016	0,014	0,012	0,01	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003
0,382	2,5	1430	1765	2216	2805	3663	4523	5725	7065	8865	11040	13850	18090
		0,0166	0,0146	0,0128	0,0112	0,0097	0,0024	0,0073	0,0065	0,0057	0,005	0,0044	0,0037

Продолжение табл.5.6

1	2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0,413	2,6	1488	1837	2304	2916	3704	4702	5952	7348	9217	11481	14401	18810
		0,018	0,016	0,014	0,012	0,01	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004
0,446	2,7	1545	1908	2393	3028	3846	4883	6180	7630	9571	11992	14955	19553
		0,02	0,017	0,015	0,013	0,011	0,01	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,004
0,48	2,8	1602	1978	2481	3141	3989	5064	6409	7913	9925	12364	15509	20257
		0,021	0,018	0,016	0,014	0,012	0,01	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004
0,514	2,9	1660	2049	2570	3253	4131	5245	6638	8195	10280	12805	16063	20980
		0,022	0,02	0,017	0,015	0,013	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005
0,55	3,0	1715	2120	2660	3365	4275	5430	6870	8480	10600	13250	16620	21700
		0,0231	0,0205	0,0179	0,0156	0,0136	0,0118	0,0103	0,0091	0,0079	0,007	0,0061	0,0052
0,588	3,1	1774	2190	2747	3477	4416	5607	7096	8761	10989	13668	17171	22427
		0,025	0,0220	0,019	0,017	0,014	0,012	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005
0,626	3,2	1831	2261	2836	3589	4559	5788	7325	9043	11344	14130	17725	23151
		0,027	0,023	0,02	0,018	0,015	0,013	0,011	0,01	0,009	0,007	0,006	0,005
0,666	3,3	1888	2331	2995	3701	4701	5969	7554	9326	11698	14572	18272	23874
		0,028	0,025	0,021	0,019	0,016	0,014	0,012	0,01	0,009	0,008	0,007	0,006
0,707	3,4	1946	2402	3013	3814	4844	6149	7783	9608	12053	15013	18832	24598
		0,03	0,026	0,023	0,02	0,017	0,015	0,013	0,011	0,01	0,008	0,007	0,006
0,749	3,5	2000	2475	3100	3925	4990	6330	8015	9895	12410	15460	19390	25330
		0,0307	0,027	0,0238	0,0207	0,018	0,0157	0,0137	0,0121	0,0106	0,0093	0,0081	0,0069
0,783	3,6	2060	2543	3190	4038	5129	6511	8242	10174	12762	15896	19940	26044
		0,033	0,029	0,025	0,022	0,019	0,016	0,014	0,012	0,011	0,009	0,008	0,007
0,837	3,7	2117	2614	3279	4160	5271	6692	8470	10456	13116	16338	20494	26768
		0,035	0,031	0,026	0,023	0,02	0,017	0,015	0,013	0,011	0,01	0,008	0,007
0,883	3,8	2175	2685	3368	4262	5413	6873	8698	10739	13471	16779	21048	27491
		0,037	0,032	0,028	0,024	0,021	0,018	0,015	0,013	0,012	0,01	0,009	0,007

Продолжение табл.5.6

1	2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0,93	3,9	2232	2755	3456	4374	5656	7054	8927	11021	13825	17221	21602	28215
		0,038	0,034	0,029	0,025	0,022	0,019	0,016	0,014	0,012	0,011	0,009	0,008
0,979	4,0	2290	2825	3545	4490	5700	7235	9160	11310	14180	17670	22160	28950
		0,0392	0,0347	0,0304	0,0265	0,023	0,02	0,0175	0,0154	0,0135	0,0119	0,0104	0,0089
1,03	4,1	2346	2897	3634	4499	5641	7415	9385	11587	14534	18104	22710	29662
		0,042	0,037	0,032	0,028	0,024	0,02	0,018	0,015	0,013	0,012	0,01	0,009
1,08	4,2	2404	2967	3722	4711	5983	7596	9514	11869	14889	18546	23264	30385
		0,044	0,038	0,033	0,029	0,025	0,021	0,018	0,016	0,014	0,012	0,011	0,009
1,13	4,3	2461	3038	3811	4825	6126	7777	9843	12152	15243	18987	23818	31109
		0,046	0,04	0,035	0,03	0,026	0,022	0,019	0,016	0,014	0,012	0,011	0,009
1,18	4,4	2518	3109	3899	4935	6268	7958	10071	12434	15598	19429	24371	31832
		0,048	0,042	0,036	0,031	0,027	0,023	0,02	0,018	0,015	0,013	0,012	0,01
1,24	4,5	2575	3180	3990	5050	6413	8142	10300	12720	13960	19880	24450	32570
		0,0486	0,043	0,0377	0,0329	0,0296	0,0249	0,0217	0,0192	0,0168	0,0148	0,0129	0,0111
1,29	4,6	2632	3250	4077	5160	6553	8320	10530	13000	16307	20312	25479	33279
		0,052	0,045	0,039	0,034	0,029	0,025	0,022	0,019	0,017	0,014	0,012	0,01
1,36	4,7	2690	3321	4165	5272	6696	8501	10759	13282	16616	20753	26033	34002
		0,054	0,047	0,041	0,035	0,03	0,026	0,023	0,02	0,017	0,015	0,013	0,011
1,41	4,8	2747	3391	4254	5384	6838	8681	10987	13555	17016	21195	26587	34785
		0,056	0,049	0,043	0,037	0,032	0,027	0,023	0,021	0,018	0,016	0,014	0,011
1,47	4,9	2804	3462	4543	5496	6980	8662	11216	13847	17370	21637	27141	35449
		0,058	0,051	0,044	0,038	0,033	0,028	0,024	0,021	0,019	0,016	0,014	0,012
1,53	5,0	2860	3535	4435	5610	7125	9045	11450	14140	17730	22090	27700	36190
		0,059	0,0522	0,0457	0,0399	0,0347	0,0302	0,0263	0,0237	0,0204	0,0179	0,0157	0,0134
1,59	5,1	2919	3603	4520	5720	7265	9224	11674	14413	18079	22520	28248	36896
		0,062	0,055	0,048	0,041	0,035	0,03	0,026	0,023	0,02	0,017	0,015	0,013

Продолжение табл.5.6

1	2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1,65	5,2	2976	3674	4608	5833	7408	9405	11903	14695	18434	22961	28803	37620
		0,065	0,057	0,049	0,043	0,037	0,032	0,027	0,024	0,21	0,018	0,013	0,013
1,72	5,3	3033	3744	4697	5945	7550	9586	12132	14978	18788	23403	29356	38343
		0,067	0,059	0,051	0,44	0,038	0,033	0,028	0,025	0,021	0,019	0,016	0,014
1,78	5,4	3090	3815	4786	6057	7693	9767	12351	15260	19143	23844	29910	39067
		0,069	0,061	0,053	0,046	0,39	0,034	0,029	0,026	0,22	0,019	0,017	0,014
1,85	5,5	3145	3885	4875	6170	7835	9945	12590	15545	19500	24290	30460	39790
		0,0703	0,0622	0,0545	0,0475	0,0413	0,0359	0,0313	0,0277	0,0243	0,0213	0,0187	0,016
1,92	5,6	3205	3958	4963	6281	7978	10128	12819	15826	19851	24727	31018	40514
		0,074	0,065	0,056	0,049	0,042	0,036	0,031	0,027	0,024	0,021	0,018	0,015
1,9	5,7	3262	4027	5052	6393	8120	10309	13047	16108	20208	25169	31572	41257
		0,077	0,067	0,058	0,05	0,043	0,037	0,032	0,028	0,025	0,021	0,019	0,016
2,06	5,8	3319	4098	5140	6506	8263	10490	13277	16391	20561	25611	32126	41960
		0,079	0,069	0,06	0,052	0,045	0,039	0,033	0,029	0,025	0,022	0,019	0,016
2,13	5,9	3376	4168	5229	6618	8405	10671	13505	16673	20915	25052	32680	42684
		0,082	0,072	0,062	0,054	0,046	0,04	0,034	0,03	0,26	0,023	0,02	0,017
2,2	6	3435	4240	5320	6730	8550	10860	13740	16960	21280	26500	33250	43420
		0,0824	0,0729	0,0639	0,0557	0,0484	0,0421	0,0367	0,0325	0,0285	0,025	0,0219	0,0188
2,28	6,1	3491	4310	5406	6842	8690	11033	13963	17239	21624	26935	33788	44131
		0,087	0,076	0,066	0,057	0,0049	0,042	0,036	0,032	0,028	0,024	0,021	0,018
2,35	6,2	3548	4380	5495	6954	8832	11214	14191	17521	21979	27377	34342	44854
		0,09	0,078	0,068	0,059	0,051	0,044	0,038	0,033	0,029	0,025	0,022	0,018
2,43	6,3	3605	4451	5583	7066	8975	11394	14421	17804	22333	27818	34895	45578
		0,092	0,081	0,07	0,06	0,052	0,045	0,039	0,034	0,029	0,026	0,022	0,019
2,51	6,4	3662	4522	5672	7178	9177	11575	14650	18086	22688	28260	35449	46301
		0,095	0,083	0,072	0,062	0,054	0,046	0,04	0,035	0,03	0,026	0,023	0,019

Продолжение табл.5.6

1	2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
2,58	6,5	3720	4590	5760	7290	9260	11755	14880	18370	23040	28700	36000	47020
		0,0995	0,0844	0,074	0,0645	0,0561	0,0488	0,0425	0,0376	0,0329	0,029	0,0254	0,0217
2,66	6,6	3777	4663	5849	7403	9402	11937	15108	18652	23397	29143	36557	47748
		0,1	0,88	0,076	0,066	0,057	0,049	0,042	0,037	0,032	0,028	0,024	0,021
2,75	6,7	3834	4734	5938	7515	9545	12118	15337	18934	23751	29585	37111	48472
		0,103	0,09	0,079	0,068	0,058	0,05	0,043	0,038	0,033	0,029	0,025	0,021
2,83	6,8	3892	4804	6026	7627	9687	12299	15566	19217	24106	30026	37665	49195
		0,106	0,093	0,081	0,07	0,06	0,052	0,045	0,039	0,034	0,03	0,026	0,022
2,91	6,9	3949	4875	6115	7739	9830	12480	15795	19499	24460	30468	38219	49918
		0,109	0,096	0,083	0,072	0,062	0,053	0,046	0,04	0,035	0,03	0,026	0,022
3	7	4000	4945	6200	7855	9975	12660	16030	19790	24820	30920	38790	50660
		0,109	0,0967	0,0847	0,07	0,0642	0,0559	0,0481	0,0431	0,0377	0,0332	0,0291	0,0249
3,08	7,1	4063	5016	6292	7964	10110	12841	16252	20065	25169	31351	39327	51365
		0,115	0,101	0,087	0,075	0,065	0,056	0,048	0,042	0,037	0,032	0,028	0,024
3,17	7,2	4120	5087	6381	8076	10260	13022	16481	20347	25524	31792	39881	52089
		0,118	0,103	0,09	0,07	0,067	0,057	0,05	0,043	0,038	0,033	0,029	0,024
3,26	7,3	4178	5157	6470	8188	10400	13203	16710	20630	25878	32234	40434	52812
		0,121	0,106	0,092	0,079	0,068	0,059	0,051	0,045	0,039	0,034	0,029	0,025
3,35	7,4	4235	5228	6558	8300	10540	13384	16939	20912	26233	32676	40988	53536
		0,124	0,109	0,094	0,081	0,07	0,06	0,052	0,046	0,04	0,035	0,03	0,025
3,44	7,5	4290	5300	6645	8410	10680	13560	17170	21200	26590	33120	41540	54260
		0,124	0,11	0,0962	0,0838	0,0729	0,0634	0,0553	0,048	0,0428	0,0377	0,033	0,0283
3,53	7,6	4349	5369	6735	8524	10830	13746	17397	21478	26942	33559	42096	54983
		0,13	0,114	0,099	0,086	0,074	0,063	0,05	0,048	0,042	0,036	0,032	0,027
3,63	7,7	4406	5440	6824	8637	10969	13907	17626	21760	27296	34000	42650	55706
		0,134	0,117	0,102	0,088	0,076	0,065	0,056	0,049	0,043	0,037	0,032	0,027
3,72	7,8	4464	5511	6913	8749	11112	14107	17854	22043	27690	34442	43204	56430
		0,137	0,12	0,104	0,09	0,077	0,067	0,057	0,05	0,044	0,038	0,033	0,028

Продолжение табл.5.6

1	2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
3,82	7,9	4521	5581	7001	8861	11254	14288	18084	22325	28005	34883	43758	57153
		0,14	0,0123	0,107	0,092	0,079	0,068	0,059	0,052	0,045	00,39	0,034	0,029
3,91	8	4580	5655	7090	8975	11400	14470	17320	22620	28370	35340	44330	57900
		0,14	0,124	0,108	0,0445	0,0821	0,0714	0,0622	0,055	0,0482	0,0424	0,0372	0,0313
4,01	8,1	4635	5723	7178	9085	11539	14650	18541	22891	28714	35766	11856	58600
		0,147	0,129	0,112	0,096	0,083	0,071	0,062	0,054	0,047	0,041	0,036	0,03
4,11	8,2	4693	5793	7276	9197	11682	14831	18770	23173	29068	36208	45419	59323
		0,15	0,132	0,0114	0,099	0,085	0,073	0,063	0,055	0,048	0,042	0,036	0,031
4,21	8,3	4750	5864	7356	9310	11824	15012	18999	23456	29423	36650	45973	60047
		0,154	0,135	0,0117	0,101	0,087	0,075	0,065	0,057	0,049	0,043	0,037	0,031
4,32	8,4	4807	5935	7444	9422	11967	15193	19228	23738	29777	37091	46527	60770
		0,157	0,138	0,119	0,0103	0,089	0076	0,066	0,058	0,05	0,044	0,038	0,032
4,42	8,5	4865	6000	7530	9530	12110	15370	19460	24020	30130	37530	47080	61500
		0,156	0,138	0,121	0,105	0,0917	0,0798	0,0695	0,0615	0,0539	0,0474	0,0415	0,0355
4,52	8,6	4921	6076	7622	9646	12251	15554	19686	24304	30486	37974	47635	62217
		0,164	0,144	0,125	0,108	0,093	0,08	0,069	0,061	0,053	0,046	0,04	0,034
4,63	8,7	4979	6147	7710	9758	12394	15735	19915	24586	30841	38413	48189	62946
		0,168	0,147	0,128	0,11	0,095	0,082	0,07	0,062	0,054	0,047	0,041	0,034
4,74	8,8	5036	6212	7799	9870	12536	15916	20144	24869	31195	38858	48743	63664
		0,171	0,15	0,13	0,112	0,097	0,083	0,072	0,063	0,055	0,048	0,041	0,035
4,84	8,9	5093	6288	7887	9983	12679	16097	20373	25151	31550	39299	49297	64388
		0,175	0,153	0,133	0,115	0,099	0,085	0,074	0,065	0,056	0,049	0,042	0,036
4,95	9	5150	6.360	1980	10100	12830	16280	20610	25440	31900	39750	49870	65130
		0,113	0,153	0,134	0,117	0,102	0,0886	0,0772	0,0683	0,0598	0,0526	0,0461	0,0395
5,07	9,1	5208	6429	8065	10207	12964	16459	20830	25717	32259	40182	50405	65834
		0,182	0,16	0,139	0,12	0,103	0,089	0,077	0,067	0,058	0,051	0,044	0,037
5,18	9,2	5265	6500	8153	10319	13106	16640	21059	25999	32613	40624	50958	66558
		0,186	0,163	0,142	0,122	0,105	0,091	0,078	0,069	0,06	0,052	0,045	0,038

Продолжение табл.5.6

1	2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
5,29	9,3	5322	6570	8442	10431	13242	16820	21282	26282	32968	41065	51512	67281
		0,19	0,166	0,144	0,125	0,107	0,092	0,08	0,07	0,061	0,053	0,046	0,039
5,4	9,4	5379	6641	8331	10543	13391	1701	21517	26564	33322	41507	52066	68005
		0,194	0,17	0,147	0,127	0,109	0,094	0,081	0,071	0,062	0,054	0,047	0,4
5,52	9,5	5437	6712	8419	10656	13354	17182	21746	26847	33677	41948	52620	68728
		0,198	0,173	0,15	0,13	0,112	0,0096	0,083	0,073	0,063	0,055	0,048	0,04
5,64	9,6	5494	6782	8508	10768	13676	17363	21975	27130	34031	42390	53174	96452
		0,202	0,177	0,153	0,132	0,114	0,098	0,085	0,074	0,065	0,056	0,049	0,041
5,76	9,7	5551	6853	8596	10880	13813	17544	22204	27412	34386	42832	53728	70175
		0,206	0,18	0,156	0,135	0,116	0,1	0,086	0,076	0,66	0,057	0,05	0,042
5,87	9,8	5608	6924	8685	10992	13961	17724	22433	27695	34740	43273	24282	70899
		0,209	0,184	0,159	0,138	0,118	0,102	0,088	0,077	0,067	0,058	0,051	0,043
5,99	9,9	5665	6994	8774	11102	14103	17906	22662	27977	35095	43715	54896	71622
		0,213	0,187	0,162	0,14	0,121	0,104	0,09	0,079	0,068	0,06	0,052	0,044
6,12	10	5725	7070	8865	11220	14250	18100	22900	28270	35460	44170	55410	72370
		0,21	0,186	0,163	0,142	0,124	0,107	0,0997	0,0828	0,0726	0,0639	0,0559	0,0479
6,24	10,1	5780	7136	8951	11329	14388	18267	23120	28543	35804	44598	55943	73069
		0,222	0,194	0,169	0,146	0,125	0,108	0,093	0,082	0,071	0,062	0,054	0,045
6,26	10,2	5837	7206	9040	11441	14531	18448	23348	28825	36158	46039	56497	73793
		0,226	0,198	0,172	0,148	0,128	0,11	0,095	0,083	0,072	0,063	0,05	0,046
6,49	10,3	5894	7277	9128	11553	14673	18629	23577	29108	36513	45481	57051	74516
		0,23	0,202	0,175	0,151	0,13	0,112	0,097	0,085	0,074	0,064	0,056	0,047
6,62	10,4	5952	7348	9217	11665	14816	18810	23806	29390	36867	45923	57605	75239
		0,234	0,205	0,178	0,154	0,132	0,114	0,098	0,087	0,075	0,065	0,057	0,048
6,74	10,5	6009	7418	9305	11777	14958	18991	24035	29673	37222	46364	58159	75963
		0,238	0,209	0,181	0,157	0,135	0,116	0,1	0,088	0,076	0,067	0,058	0,049
6,87	10,6	6066	7489	9394	11889	15101	19172	24264	29956	37576	46806	58713	76685
		0,243	0,213	0,185	0,169	0,137	0,118	0,102	0,089	0,078	0,068	0,059	0,05

Продолжение табл.5.6

1	2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
7	10,7	6123	7560	9483	12002	15243	19352	24493	30238	37931	47247	59267	77410
		0,247	0,217	0,188	0,162	0,14	0,12	0,104	0,091	0,079	0,069	0,06	0,051
7,13	10,8	6180	7630	9571	12114	15386	19533	24722	30521	38285	47689	59821	78133
		0,251	0,22	0,191	0,165	0,142	0,122	0,106	0,093	0,08	0,07	0,061	0,051
7,27	10,9	6238	7701	9680	122226	15528	19714	24951	30803	38640	48130	60375	78857
		0,256	0,224	0,195	0,168	0,145	0,125	0,108	0,094	0,082	0,071	0,062	0,052
7,4	11	6300	7770	9752	12340	15680	19900	25200	31100	39000	48600	60950	79600
		0,25	0,221	0,194	0,169	0,147	0,128	0,112	0,0987	0,0864	0,076	0,0666	0,057
7,54	11,1	6352	7842	9837	12450	15813	20076	25409	31369	39349	49013	61482	80304
		0,265	0,232	0,201	0,174	0,15	0,129	0,111	0,098	0,085	0,074	0,064	0,054
7,67	11,2	6409	7913	9926	12562	15955	20257	25647	31651	39703	49455	62036	81027
		0,269	0,236	0,205	0,177	0,152	0,131	0,113	0,0099	0,86	0,075	0,065	0,055
7,81	11,3	6467	7983	10014	12675	16098	20438	25866	31934	40058	49897	62590	81751
		0,274	0,24	0,208	0,18	0,156	0,133	0,115	0,101	0,088	0,076	0,066	0,056
7,95	11,4	6524	8054	10103	12787	16240	20618	26095	32216	40412	50338	63144	82474
		0,278	0,244	0,212	0,183	0,157	0,135	0,117	0,103	0,089	0,078	0,067	0,057
8,09	11,5	6581	8125	10192	12899	16383	20799	26324	32499	40767	50780	63698	83197
		0,283	0,248	0,215	0,186	0,16	0,138	0,119	0,104	0,091	0,079	0,068	0,058
8,23	11,6	6638	8195	10280	13011	16525	20980	26553	32781	41121	51221	64252	83921
		0,288	0,252	0,219	0,189	0,163	0,14	0,121	0,106	0,0092	0,08	0,07	0,069
8,37	11,7	6696	8266	10369	13123	16668	21161	26782	33064	41476	51663	64806	84644
		0,292	0,256	0,222	0,192	0,165	0,142	0,123	0,108	0,094	0,082	0,071	0,06
8,52	11,8	6753	8337	10458	13235	16810	21342	27011	33347	41830	52104	65260	85368
		0,297	0,26	0,226	0,195	0,168	0,145	0,125	0,109	0,095	0,083	0,072	0,061
8,66	11,9	6810	8407	10546	13348	16953	21523	27240	33629	42185	52546	69514	86091
		0,302	0,264	0,229	0,198	0,171	0,147	0,127	0,111	0,097	0,084	0,073	0,062

Окончание табл. 5.6

1	2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
8,81	12	6870	8480	10640	13460	17100	21700	27500	33900	42550	53000	66500	86850
		0,294	0,26	0,228	0,196	0,173	0,15	0,131	0,116	0,101	0,0892	0,0782	0,066
8,95	12,1	6924	8549	10723	13572	17237	21885	27698	34195	42894	53429	67021	87538
		0,311	0,273	0,237	0,204	0,176	0,152	0,13	0,115	0,1	0,087	0,075	0,064
9,1	12,2	6982	8619	10812	13684	17380	22065	27927	34477	43248	53871	67575	88262
		0,316	0,277	0,241	0,208	0,179	0,154	0,133	0,117	0,0101	0,088	0,077	0,065
9,25	12,3	7039	8690	10900	13796	17522	22246	28155	34760	43603	54312	68129	88985
		0,321	0,281	0,244	0,211	0,182	0,156	0,135	0,118	0,103	0,09	0,078	0,066
9,4	12,4	7096	8761	10989	13908	17655	22427	28384	35042	43957	54754	68683	89709
		0,326	0,286	0,248	0,214	0,184	0,159	0,137	0,12	0,104	0,091	0,079	0,067
9,56	12,5	7153	8831	11078	14020	17807	22608	28613	35325	44312	55195	69237	90432
		0,331	0,29	0,252	0,217	0,187	0,161	0,139	0,122	0,106	0,092	0,08	0,068
9,71	12,6	7211	8902	11167	14133	17950	22789	28842	35067	44666	55637	69791	91165
		0,336	0,295	0,256	0,221	0,19	0,164	0,141	0,124	0,108	0,094	0,08	0,069
9,86	12,7	7268	8973	11255	14245	18092	22970	29071	35890	45021	56078	70345	91879
		0,341	0,299	0,259	0,224	0,193	0,166	0,143	0,126	0,109	0,095	0,083	0,07
10,02	12,8	7327	9043	11344	14357	18235	23151	29300	36173	45375	56250	70899	92602
		0,346	0,303	0,263	0,227	0,196	0,169	0,145	0,128	0,111	0,097	0,084	0,071
10,18	12,9	7382	9114	11432	14469	18377	23331	29529	36455	46730	56962	71453	93326
		0,352	0,308	0,267	0,231	0,199	0,171	0,148	0,13	0,112	0,098	0,085	0,072
10,34	13	7440	9190	11530	14590	18530	23500	29770	36750	46100	57420	72030	94100
		0,34	0,301	0,264	0,23	0,2	0,174	0,152	0,134	0,117	0,103	0,0905	0,0775
10,5	13,1	7497	9255	11610	14693	18662	23693	29987	37021	46439	57845	72560	94773
		0,362	0,317	0,275	0,238	0,205	0,176	0,152	0,133	0,116	0,101	0,088	0,074
10,66	13,2	7534	9326	11698	14806	18805	23874	30216	37303	46793	58286	73114	95496
		0,367	0,322	0,279	0,241	0,208	0,179	0,154	0,135	0,117	0,102	0,089	0,075

Таблица 5.7

Значения ζ_0 конического коллектора

l/d_0	Значение ζ_0 при α , град						
	0	10	30	60	100	140	180
0,025	1	0,96	0,9	0,8	0,69	0,59	0,5
0,05	1	0,93	0,8	0,67	0,58	0,53	0,5
0,1	1	0,8	0,55	0,41	0,41	0,44	0,5
0,25	1	0,68	0,3	0,17	0,22	0,34	0,5
0,6	1	0,46	0,18	0,13	0,21	0,33	0,5
1	1	0,32	0,14	0,1	0,18	0,3	0,5

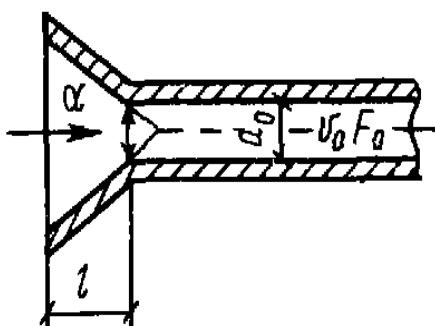
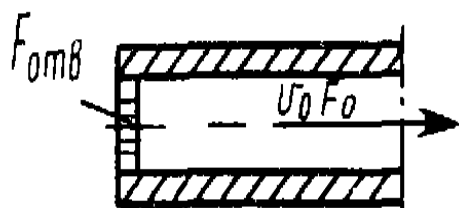


Таблица 5.8

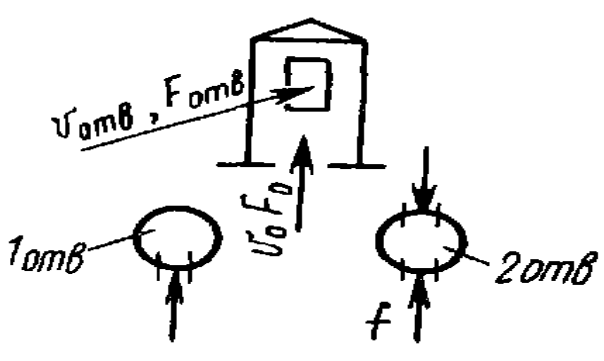
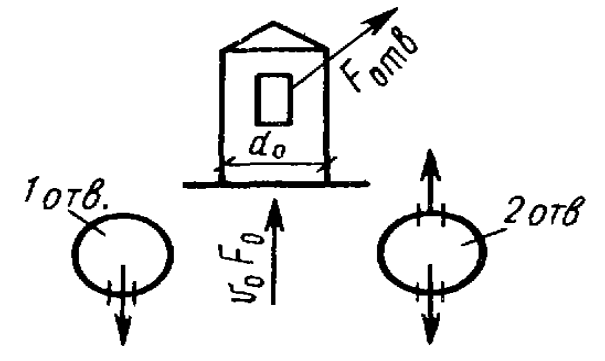
Значения ζ_0 для прямого колена с сеткой или решеткой

Элемент системы	Значения ζ_0 при $F_{отв}/F_0$												
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
прямой канал с сеткой или решеткой	-	-	4	2,65	1,97	1,58	1,32	1,14	-	-	-	-	-



Элемент системы	Значения ζ_0 при $F_{отв}/F_0$												
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
одно отверстие	64,5	30	14,9	9	6,27	4,54	3,54	2,7	2,28	-	-	-	-
два отверстия одно против другого)	-	-	17	12	8,75	6,85	5,5	4,54	3,84	-	2,01	-	1,1

Первое боковое отверстие						Последнее боковое отверстие							
Элемент системы	Значения ζ_0 при $F_{отв}/F_0$												
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
одно отверстие	65,7	30	16,4	10,8	7,3	5,5	4,48	3,67	3,16	2,44	-	-	-
два отверстия одно против другого)	67,7	33	17,2	11,6	8,45	6,8	5,88	5	4,3	3,47	2,9	2,52	2,25

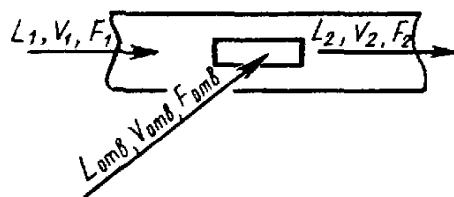



Примечание: в прямом канале с сеткой или решеткой $F_{отв}$ – живое сечение сетки

Таблица 5.9

Значения ζ_0 среднего отверстия

$F_{отв}/F_1$	Значения $\zeta_{отв}$ (вход)					Значения ζ_1 (проход)				
	при $Q_{отв}/Q_2$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,1	0,8	1,3	1,4	1,4	1,4	0,1	-0,1	-0,8	-2,6	-6,6
0,2	-1,4	0,9	1,3	1,4	1,4	0,1	0,3	-0,01	-0,6	-2,1
0,4	-9,5	0,2	0,9	1,2	1,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
0,6	-21,2	-2,5	0,3	0,3	1,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3



Примечание: $\zeta_{отв}$ – относится к скорости в отверстии $v_{отв}$; ζ_1 – к скорости в воздуховоде v_1 .

Таблица 5.10

Значения ζ_0 приточных и вытяжных шахт с зонтом

Тип шахты	Значения ζ_0 при h/d_0														
	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,63	0,7	0,8	0,86	0,9	1	от 1 до ∞
1	2,63	1,83	-	1,53	-	1,39	1,31	1,19	-	1,15	1,08	-	1,07	-	1,05
2	4	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,15	-	1,1	-	-	1	-	1	-

1 - приточная

2 - вытяжная

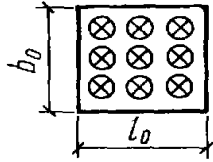
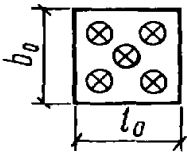
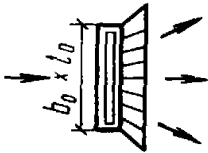

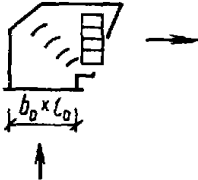
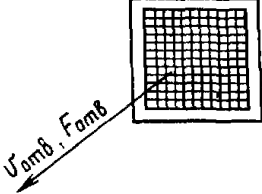
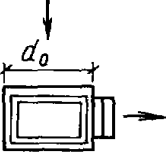
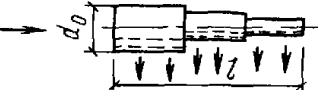
Таблица 5.11

Значения ζ_0 щелевой решетки типа Р и цилиндрической трубы

Элемент системы	Эскиз	η_0
Решетка щелевая типа Р (серия 1.494 – 10)		2
Цилиндрическая труба		1,1
Цилиндрическая труба с конфузором		4,5

Таблица 5.12

Значения ζ_0 воздухораспределителей различных типов

Тип воздухораспределителя	Эскиз	ζ_0
1	2	3
Воздухораспределитель эжекционный панельный штампованный типа п-ВЭПш (серия 1.904-36)		330
Устройство для напольной раздачи воздуха типа УВН (серия 5.904-36)		650
Решетка вентиляционная унифицированная типа РВ		1,3-1,4
Воздухораспределитель вихревой регулируемый типа ВВР (серия 5.904-40)		1,2-1,3
Воздухораспределитель для подачи воздуха компактной струей типа ВГК (серия 4.904-68)		1,9
Решетка, сетка, перфорация, отверстия с параллельными направляющими лопатками		1,8
Воздухораспределитель приколонный регулируемого типа НРВ (серия 4.904-37)		3
Воздухораспределитель перфорированный круглый типа ВПК (серия 5.904-6)		2,4

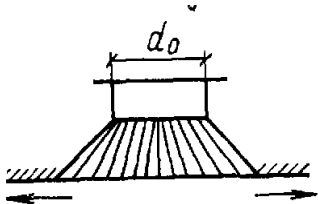

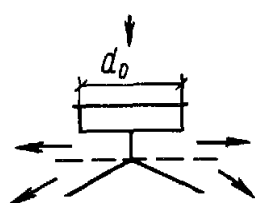
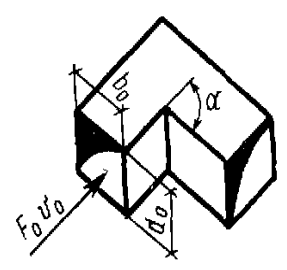
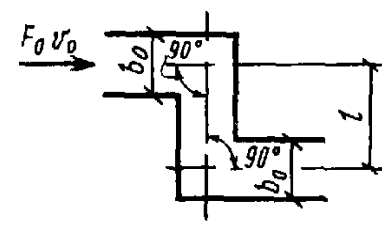
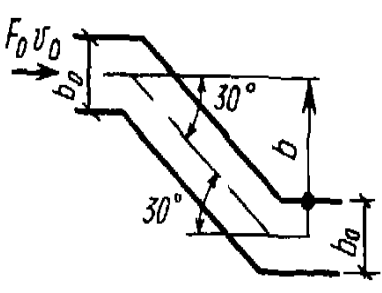
1	2	3
Воздухораспределитель двухструйный шестидиффузорный прямоугольного сечения типа ВДШп (серия 4.904-29 и 1.494-29)		1,3
Воздухораспределитель для сосредоточенной подачи воздуха типа ВСП (серия 5.904-18)		2,5
Воздухораспределитель регулируемого типа ВР (серия 5.904-38)		1,5-1,7

Таблица 5.13

Значение ξ_0 с острыми кромками, Z образного 90 и 30° квадратного и круглого сечения

Колено с острыми кромками		Колено z-образное 90			
					
α , град	ξ_0	l/b_0	ξ_0	l/b_0	ξ_0
0	0	0	0	2,4	3,65
20	0,13	0,4	0,62	2,8	3,3
30	0,16	0,6	0,9	3,2	3,2
45	0,32	0,8	1,61	4	3,8
60	0,56	1	2,63	5	2,92
75	0,81	1,2	3,61	6	2,8
90	1,2	1,6	4,01	7	2,7
110	1,9	1,8	4,18	9	2,6
130	2,6	1,6	4,22	10	2,45
150	3,2	2	4,18	15 и	2,3
180	3,6	более			

Колено образное 30°	d_0/b_0	c
	0,25	1,1
	0,5	1,07
	0,75	1,04
	1	1
	1,5	0,95
	2	0,9
	3	0,83
	4	0,78
	5	0,75
6	0,72	
7	0,71	
8	0,7	

Примечание: 1. Для колена Z образного 30° $\xi_0=0,16$ при $l/b_0=15$.

2. Для колена прямоугольного сечения значение ξ_0 следует умножить на величину c .

Таблица 5.14

Значение ζ_0 колена П-образного 90°

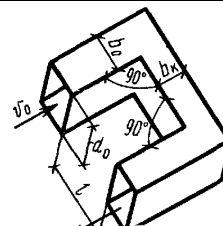
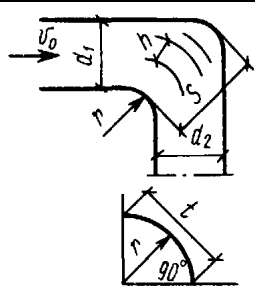
		Значения ζ_0 при l/b_0											
		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,4
b_k/b_0		7,9	6,9	6,1	5,4	4,7	4,3	4,2	4,3	4,44	4,6	4,8	5,3
0,5		4,5	3,6	2,9	2,5	2,4	2,3	2,3	2,3	2,4	2,6	2,7	3,2
0,73		3,6	2,5	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	2,3
1		3,9	2,4	1,5	1	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7
2													

Таблица 5.15

Значения ζ_0 колена 90° с направляющими лопатками $t = 0,2 - 0,5d$,
 $r = 0,14 - 0,35d$

	r/d_1	ζ_0
	0	0,4
	0,1	0,35
	0,24	0,2
	0,3	0,2

Примечание: $d_k = 0,67 \frac{S}{n+1} \left(1 + \frac{k-1}{n} \right)$, где k – порядковый номер лопатки;

$n=1,4 (S/t)$ – общее число лопаток; t - длина лопатки.

Таблица 5.16

Значения ζ_0 отвода 90° штампованного круглого сечения

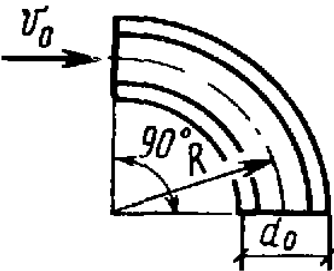
	R/d	ζ_0
	1	0,21
	1,5	0,17
	2	0,15

Таблица 5.17

Значения ζ_0 и ζ_n тройника прямого 90° приточного прямоугольного сечения

v_0/v_c	$F_n = F_0$		v_n/v_c	$F_n + F_0 = F_c$	
	ζ_0	ζ_n		ζ_0	ζ_n
0,4	9,4	0,4	0,4	Определяется по формуле $\zeta_0 = (v_c/v_0)^2$	4,4
0,5	6,2	0	0,5		2,0
0,6	4,2	-0,1	0,6		0,8
0,8	2,3	-0,1	0,8		0,1
1	1,6	0	1		0
1,2	1,2		1,2		0,1
1,4	1		1,4		0,2
1,6	0,8		1,6		0,4
1,8	0,7		1,8		0,6
2	0,7		2		0,8
2,2	0,7				
2,4	0,7				

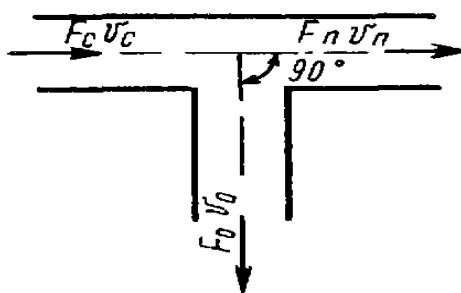


Таблица 5.18

Значения ζ_0 и ζ_n тройника прямого 90° вытяжного прямоугольного сечения

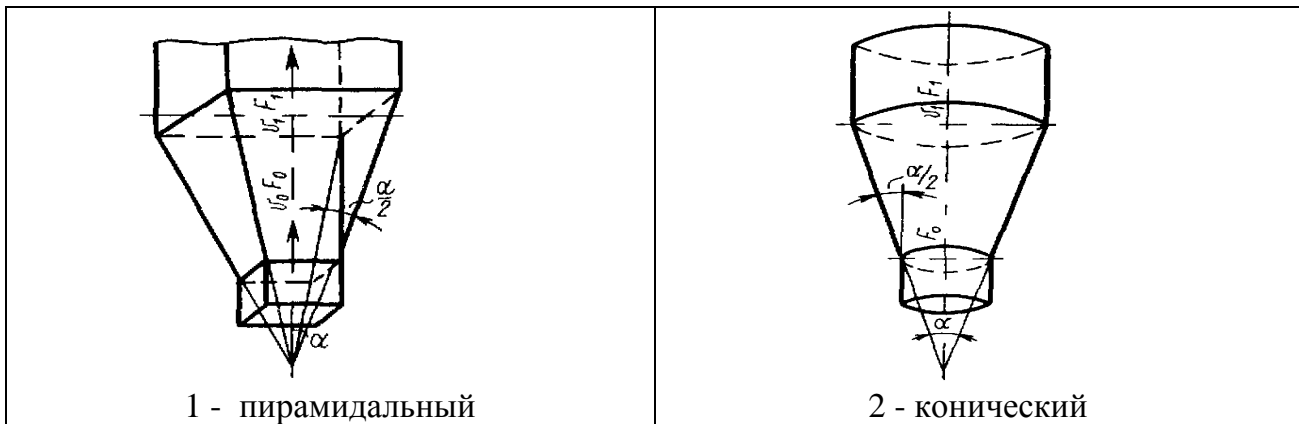
$$F_n = F_c.$$

F_0/F_n	Значения ζ_0 (в числителе) и ζ_n (в знаменателе) при L_0/L_c									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,1	$\frac{0,3}{0,2}$	$\frac{0,9}{0,5}$	$\frac{1}{0,9}$	$\frac{1}{1,5}$	$\frac{1}{2,5}$	$\frac{1}{4,4}$	$\frac{1}{8,4}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{82}$	$\frac{1}{\infty}$
0,2	$\frac{-1,7}{0,2}$	$\frac{0,6}{0,4}$	$\frac{1}{0,8}$	$\frac{1}{1,3}$	$\frac{1}{2,1}$	$\frac{1}{3,7}$	$\frac{1}{7,1}$	$\frac{1}{16,7}$	$\frac{1}{69}$	$\frac{1}{\infty}$
0,4	$\frac{-2,4}{0,2}$	$\frac{-0,6}{0,4}$	$\frac{0,7}{0,6}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,1}{1,6}$	$\frac{1,1}{2,8}$	$\frac{1,1}{5,2}$	$\frac{1,1}{12,3}$	$\frac{1,1}{51}$	$\frac{1,1}{\infty}$
0,6	$\frac{-21}{0,2}$	$\frac{-2,7}{0,4}$	$\frac{0,1}{0,6}$	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{1,1}{1,3}$	$\frac{1}{2,2}$	$\frac{1,2}{4,1}$	$\frac{1,2}{9,5}$	$\frac{1,2}{39}$	$\frac{1,2}{\infty}$
0,8	$\frac{-37}{0,8}$	$\frac{5,5}{0,4}$	$\frac{-0,}{0,5}$	$\frac{0,6}{0,7}$	$\frac{1,1}{1,1}$	$\frac{1,2}{1,8}$	$\frac{1,3}{3,3}$	$\frac{1,3}{7,6}$	$\frac{1,2}{31}$	$\frac{1,2}{\infty}$
1,0	$\frac{-50}{0,3}$	$\frac{-8,8}{0,4}$	$\frac{-1,0}{0,5}$	$\frac{0,3}{0,7}$	$\frac{1,1}{1}$	$\frac{1,3}{1,6}$	$\frac{1,3}{2,8}$	$\frac{1,3}{6,3}$	$\frac{1,3}{2,5}$	$\frac{1,3}{\infty}$

Таблица 5.19

Значения ζ_0 диффузоров пирамидальных и конических в сети

Тип диффузора	F_0/F_1	Значения ζ_0 при α , град										
		10	12	14	16	18	20	24	28	30	32	40
1	0,2	0,14	0,17	0,2	0,24	0,28	0,31	0,4	0,49	-	0,59	0,69
1	0,25	0,13	0,16	0,18	0,21	0,24	0,27	0,35	0,43	-	0,52	0,61
1	0,3	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	0,24	0,31	0,38	-	0,46	0,53
1	0,4	0,09	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,23	0,28	-	0,34	0,4
1	0,5	0,07	0,08	0,09	0,1	0,12	0,13	0,17	0,2	-	0,24	0,28
1	0,6	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,11	0,14	-	0,16	0,19
2	0,2	0,12	0,14	0,17	0,19	-	0,25	0,32	-	0,43	-	0,61
2	0,25	0,1	0,12	0,15	0,17	-	0,22	0,28	-	0,37	-	0,49
2	0,3	0,09	0,11	0,13	0,15	-	0,2	0,25	-	0,33	-	0,42
2	0,4	0,08	0,09	0,1	0,12	-	0,15	0,19	-	0,25	-	0,35
2	0,5	0,06	0,07	0,08	0,09	-	0,11	0,14	-	0,18	-	0,25
2	0,6	0,05	0,05	0,06	0,07	-	0,08	0,1	-	0,12	-	0,17



1 - пирамидальный

2 - конический

Таблица 5.20

Значения ζ_0 конфузора в сети

l/d	Значения ζ_0 при α , град			
	10	20	30	40
0,1	0,41	0,34	0,27	0,24
0,15	0,39	0,29	0,22	0,18
0,6	0,29	0,2	0,15	0,13
Свыше 0,6	$\zeta_0 = 0,1$			

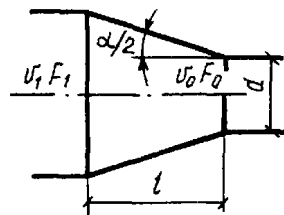


Таблица 5.21

Значения ζ_0 изменения поперечного сечения

F_0/F_1	Значения ζ_0 при внезапном изменении сечения потока	
	расширении	сужении
0	1	0,5
0,1	0,81	0,45
0,2	0,64	0,4
0,3	0,5	0,35
0,4	0,36	0,3
0,5	0,25	0,25
0,6	0,16	0,2
0,7	0,09	0,15
0,8	0,04	0,1
1	0	0

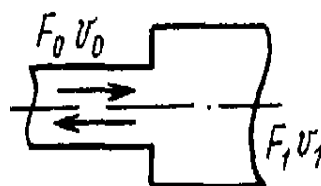


Таблица 5.22

Значения ζ_0 отверстия с утолщенными краями

l/d_0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	4
ζ_0	2,89	2,72	2,6	2,34	1,95	1,76	1,68	1,63	1,61	1,55	1,56	1,56

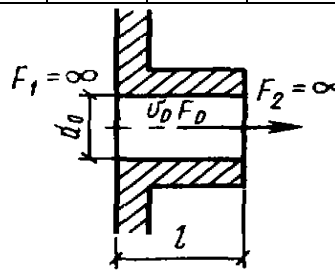


Таблица 5.23

Значения ζ_0 дроссель-клапана

Количество створок n	Значения ζ_0 при α , град									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	0,04	0,3	1,1	2,5	8	20	60	200	1500	6000
2	0,07	0,4	1,1	2,5	5,5	12	30	90	1600	7000
3	0,12	0,12	0,8	2	5	10	19	40	1600	7000
4	0,13	0,25	0,8	2	4	8	15	30	110	6000
5	0,15	0,2	0,7	1,8	3,5	7	19	28	80	5000

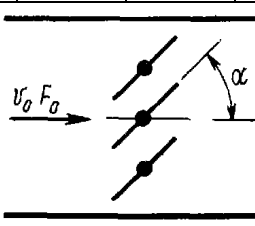


Таблица 5.24

Значения ζ_0 шиберы

h/d_0	F_h/F_0	Значения ζ_0 для воздуховодов	
		круглых	прямоугольных
1	2	3	4
-	0	∞	∞
0,1	-	-	193
0,2	0,25	35	44,5
0,3	0,38	10	17,8
0,4	0,5	4,6	8,12
1	2	3	4
0,5	0,61	2,06	4,02
0,6	0,71	0,98	2,08
0,7	0,81	0,44	0,95
0,8	0,9	0,17	0,39
0,9	0,96	0,06	0,09
1	1	0	0

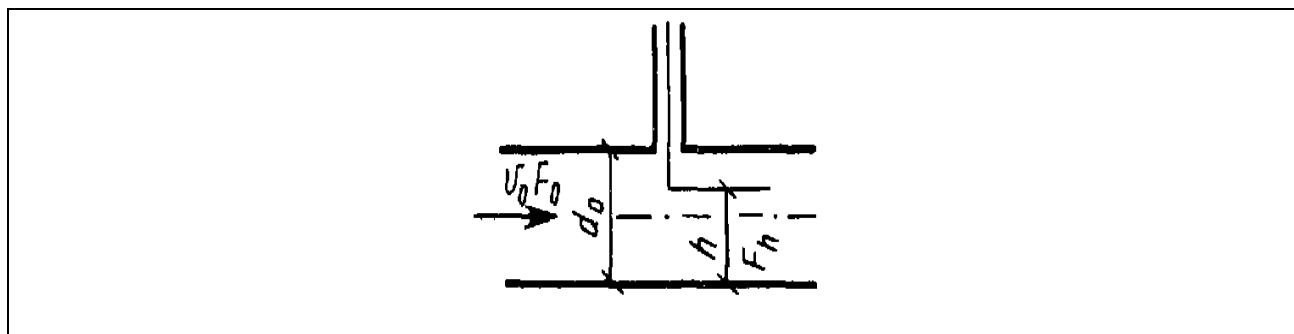


Таблица 5.25

Значения ζ_0 диафрагмы на прямом участке

F_0/F_1	0,5	0,5	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
ζ_1	3,75	2,89	1,9	1,41	0,93	0,69	0,41	0,25	0,13	0,05	0

5.3. Расчет системы приточной вентиляции

По методике расчета баланса тепла производственных помещений (гл.1) можно определить объем вентилируемого воздуха (гл. 2).

Это позволяет спроектировать систему вентиляции с учетом особенностей производства, строительной компоновки производственного помещения и расположения аппаратов технологического процесса в нем.

Пример спроектированной системы приведен на рис. 5.1.

Задачей расчета является определение суммарной производительности системы (L , м³/ч) и полной потери напора в ней, проведенного по ранее изложенной методике в п.5.2, для выбора вентилятора и электродвигателя к нему.

Воздуховоды обычно выполняются из оцинкованной стали. Преимущество отдается воздуховодам круглого сечения. Если воздух в воздуховоде имеет температуру свыше 80 °С, или содержит механические примеси, то используют воздуховоды из черной стали 1.4 мм и выше.

При проведении расчета нужно учитывать, что скорость движения воздуха в ответвлениях (участок 1) системы вентиляции не должна превышать 6 м/с, а в магистрали (начиная со второго участка), должна быть в пределах от 6 до 12 м/с. Расчет системы вентиляции начинают с наиболее удаленного от вентилятора участка, в нашем случае первого.

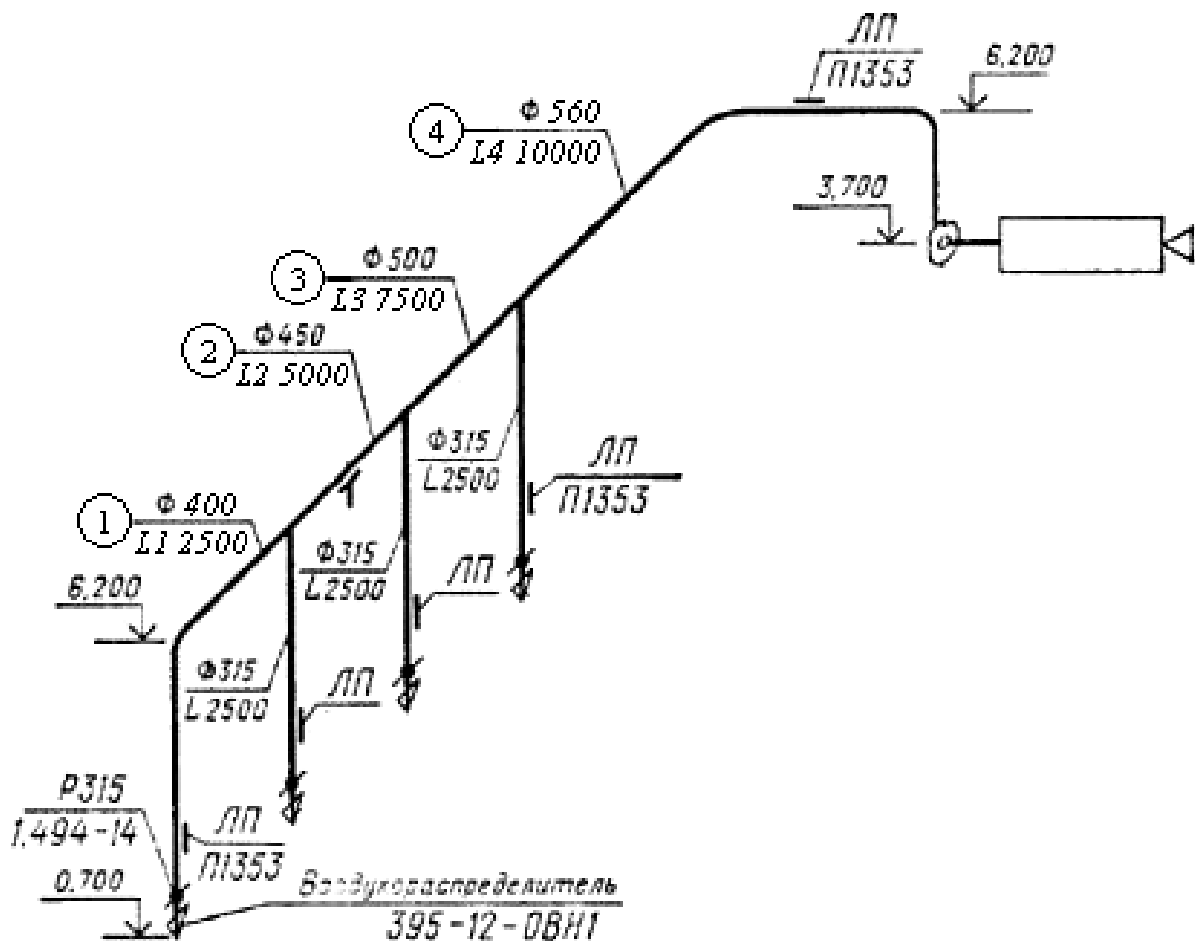


Рис. 5.1. Система приточной вентиляции

5.3.1. Расчет потерь напора на первом участке

По значению производительности системы L_1 , на данном участке равной $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ (рис.5.1), и скорости, принятой около 5 м/с , находим диаметр воздуховода, коэффициент сопротивления трения и динамическое давление на данном участке воздуховода при значении $L_{\text{пр}}$, наиболее близком к L_1 , но не менее его. Полученные значения по табл. 5.6:

диаметр 400 мм ; $L_{\text{пр}}=2535 \text{ м}^3/\text{ч}$; $R_{\text{тр}}=0,86 \text{ Н/м}^2 \cdot \text{пог.м}$; $v_1=5,6 \text{ м/с}$;

$$\frac{v^2 \cdot v}{2} = 19,2 \text{ Н/м}^2.$$

Потеря давления на преодоление трения R_1 , Н/м^2 , рассчитывается по формулам

$$R_1 = R_{\text{тр}1} \cdot l_1 = R_{\text{тр}} (l_{\text{верт}} + l_{\text{гор}}), \quad (5.5)$$

$$R_1 = 0,86(5,5 + 6) = 9,86 \text{ Н/м}^2.$$

Примем, что воздуховоды к воздухораспределителям располагаются у колонн каркаса, которые идут с шагом 6 м . Следовательно, расстояния между ответвлениями по горизонтали на всех участках будут тоже равны 6 м .

Длина вертикальных участков системы определяется как разность отметок осей воздуховодов на данном участке, находящихся на разных уровнях.

Потеря давления на местных сопротивлениях расчетного участка воздуховода может быть рассчитана по формуле

$$Z = (\xi_{\text{пов}} + \xi_{\text{конф}}) \cdot \frac{v^2 \cdot v}{2}, \quad (5.6)$$

где $\xi_{\text{конф}}$ – коэффициент местного сопротивления конфузора; $\xi_{\text{пов}}$ – коэффициент местного сопротивления поворота воздуховода на 90° .

Потеря давления в воздухораспределителе рассчитывается по формуле

$$Z_{\text{в.р.}} = \xi_{\text{в.р.}} \cdot \frac{v_{\text{в.р.}}^2 \cdot v}{2}, \quad (5.61)$$

Скорость движения в воздухораспределителе определяется по количеству воздуха, приходящему через него и по живому сечению воздухораспределителя для прохода воздуха по формуле

$$v_{\text{в.р.}} = \frac{L_1}{f_{\text{ж.с.}}^{\text{в.р.}}}. \quad (5.62)$$

Живое сечение принимается по табл. 5.26.

Полученное значение потери напора в воздухораспределителе складывается с рассчитанными потерями давления на местном сопротивлении на первом участке.

В качестве воздухораспределителя примем жалюзийную решетку типа РР с параллельно установленными створками.

По табл. 5.12 значения $\zeta_{\text{вр}}$ для него равно 2,2.

Значение коэффициента местного сопротивления поворота воздуховода зависит от угла его поворота и отношения радиуса поворота воздуховода к его диаметру (R_0/d_0). Это отношение может быть равно 1, 1,5 и 2. Значение коэффициента местного сопротивления поворота воздуховода определяется по табл. 5.16.

Примем отношение $R_0/d_0 = 1,5$, тогда для угла поворота, равного 90° , значение $\zeta = 0,17$.

Диаметр воздуховода целесообразно увеличить до 450 мм, так как при диаметре 400 мм при проходе объема воздуха на втором участке, равном $5000 \text{ м}^3/\text{ч}$, скорость движения воздуха в воздуховоде составила бы 11,1 м/с, что являлось бы почти предельным, близким к 12 м/с.

Определим коэффициент местного сопротивления увеличения диаметра (конфузора прямолинейного) по табл. 5.20. Значение $\zeta_{\text{конф}}$ определяется отношением l/d и углом α .

Таблица 5.26

Техническая характеристика вентиляционных решеток

Размеры решетки, мм		Площадь живого сечения, F, м ²	Материал	Масса, кг	Примечания
Внутренние <i>ахб</i>	Наружные <i>АхБ</i>				
120x120	170x250	0,018	пластмасса	0,1	с монтажной регулировкой живого сечения по ГОСТ 13448-68
200x200	250x250	0,03	пластмасса	0,17	
200x300	300x300	0,05	пластмасса	-	декоративная, пригодна для ленточной установки
120x170	170x320	0,029	пластмасса	0,3	-
Ø 160	Ø200	0,009	пластмасса	0,105	
150x150	190x190	0,0142	сталь	0,432	щелевая, серия 1.494-10, имеет регулятор расхода воздуха
150x490	150x490	0,052	сталь	0,97	СТД 5288А
		0,061	сталь	1,13	СТД 5288А
100x400	140x560	0,032	сталь	-	веерная типа РВ, серии 4.904-30
150x600	190x700	0,072	сталь	-	
200x800	240x960	0,133	сталь	-	

Определим значение l из прямоугольного треугольника abc по известным значениям a и $a/2$. Примем угол $\alpha=30^\circ$.

$$\text{Значение } ab = \frac{d_1 - d_0}{2} = \frac{450 - 400}{2} = 25 \text{ мм.}$$

$$\text{Тогда } l = bc = ab \operatorname{ctg} 15^\circ = 25 \cdot 3,732 = 93,3 \text{ мм, } \frac{l}{d} = \frac{93,3}{400} = 0,233.$$

Для этого значения коэффициент местного сопротивления конфузора будет равен 0,21.

Сумма коэффициентов на первом участке воздуховода составит

$$\sum \zeta = 2,2 + 0,17 + 0,21 = 2,58.$$

По полученному значению определяем потерю напора на местных сопротивлениях 1-го участка воздуховода

$$Z = 2,58 \cdot 19,2 = 49,53 \text{ Н/м}^2.$$

Общая потеря напора на первом участке воздуховода составит

$$P_1 = 9,89 + 49,53 = 59,42 \text{ Н/м}^2.$$

5.3.2. Расчет потерь напора на втором участке

Общий объем воздуха, проходящего по второму участку воздуховода, составляет $5000 \text{ м}^3/\text{ч}$, а диаметр принят равным 450 мм . По табл. 5.4 для диаметра 450 мм и объема воздуха $5036 \text{ м}^3/\text{ч}$ значение сопротивления трения составит $1,71 \text{ Н/м}^2$, скорость движения $v_2 = 8,8 \text{ м/с}$, динамическое давление - $47,4 \text{ Н/м}^2$. Потеря давления на трение на втором участке при длине его 6 м составит

$$R_2 = R_{\text{тр}2} \cdot l_2 = 1,71 \cdot 6 = 10,26 \text{ Н/м}^2.$$

Местными сопротивлениями на втором участке являются сопротивления тройника и конфузора.

Коэффициент местного сопротивления на тройнике определяем по табл. 5.17 для условия $F_{\text{п}}=F_{\text{с}}$ и по отношению v_n/v_c .

$$v_{\text{п}} = \frac{L_1}{F_{\text{п}} \cdot 3600} = \frac{2518}{0,159 \cdot 3600} = 4,4 \text{ м/с},$$

$$v_{\text{с}} = \frac{L_2}{F_{\text{с}} \cdot 3600} = \frac{5036}{0,159 \cdot 3600} = 8,8 \text{ м/с},$$

$$\frac{v_n}{v_c} = \frac{4,4}{8,8} = 0,5. \text{ Значение коэффициента местного сопротивления}$$

тройника для данного соотношения скоростей равно 0.

Коэффициент местного сопротивления на конфузоре определяется аналогично рассчитанному на первом участке воздуховода. Диаметр на третьем участке воздуховода для выполнения условия по скоростям движения воздуха принят для $L_2=7560 \text{ м}^3/\text{ч}$ равным 500 мм . Поэтому в конфузоре диаметр увеличивается с 450 до 500 мм . Значение коэффициента местного сопротивления конфузора при $\frac{l}{d_{\text{экв}}} = \frac{93,3}{450} = 0,207, \xi = 0,215$.

Потери напора на местных сопротивлениях составят:

$$Z_2 = (\xi_{\text{тр}} + \xi_{\text{конф}}) \cdot \frac{v^2 \cdot v}{2} = (0 + 0,215) \cdot 47,4 = 10,19 \text{ Н/м}^2.$$

Суммарные потери напора на втором участке составят:

$$P_2 = 10,26 + 10,19 = 20,45 \text{ Н/м}^2.$$

5.3.3. Расчет потерь напора на третьем участке

Объем воздуха, проходящего на третьем участке, составляет $7500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для диаметра 500 мм ближайшее значение по производительности на третьем участке равно $7560 \text{ м}^3/\text{ч}$. Этому значению соответствуют со-

противление трения $R_{тр3} = 2,17 \text{ Н/м}^2$, скорость воздуха $v_3 = 10,7 \text{ м/с}$, динамическое давление $\frac{v^2 \cdot \nu}{2} = 70 \text{ Н/м}^2$.

Потеря напора на трение на третьем участке будет равна

$$R_3 = R_{тр3} \cdot l_3 = 2,17 \cdot 6 = 13,02 \text{ Н/м}^2.$$

Местными сопротивлениями на третьем участке будут опять тройник и конфузор. Для значения $\frac{v_n}{v_c} = \frac{6,4}{10,7} = 0,6$ коэффициент местного сопротивления тройника составит минус 0,1. Коэффициент местного сопротивления конфузора для $\frac{l}{d_{экв}} = \frac{93,3}{500} = 0,186$ будет равен $\sim 0,218$.

Потеря напора на местных сопротивлениях на третьем участке составит:

$$Z_3 = (-0,1 + 0,218) \cdot 70 = 8,26 \text{ Н/м}^2.$$

Полная потеря напора на третьем участке воздухопровода будет равна

$$P_3 = 13,02 + 8,26 = 21,28 \text{ Н/м}^2.$$

5.3.4. Расчет потерь напора на четвертом участке

На четвертом участке при диаметре 560 мм уточненная производительность составляет $10014 \text{ м}^3/\text{ч}$, скорость $v_4 = 11,3 \text{ м/с}$, сопротивление трения $2,08 \text{ Н/м}^2$ и динамическое давление $78,1 \text{ Н/м}^2$.

Потеря напора на трение на четвертом участке будет равна

$$R_4 = R_{тр4} \cdot l_4 = 2,08 \cdot 21,5 = 44,72 \text{ Н/м}^2.$$

l_4 определяется по плану производственного здания и перепадов высот воздухопровода.

Местными сопротивлениями на четвертом участке воздухопровода будут тройник и два поворота воздухопровода. Для $\frac{v_n}{v_4} = \frac{7,9}{11,3} = 0,7$ коэффициент местного сопротивления тройника будет равен минус 0,1.

Потери напора на местных сопротивлениях на четвертом участке будут равны

$$Z_4 = (-0,1 + 2 \cdot 0,17) \cdot 78,4 = 18,74 \text{ Н/м}^2.$$

Общие потери напора на четвертом участке воздухопровода составят:

$$P_4 = R_4 + Z_4 = 44,78 + 18,74 = 63,5 \text{ Н/м}^2.$$

Полученные результаты расчета сводим в табл. 5.27.

Сводная таблица расчета приточной системы вентиляции

№ участка	Количество воздуха L , м ³ /ч	Диаметр воздуховода d , мм	Скорость движения воздуха v , м/с	Длина участка l , м	Потери давления на трение, Н/м ²		Динамическое давление $v^2v/2$, Н/м ²	Сумма коэффициентов местного сопротивления, $\sum\zeta$	Потери давления на местных сопротивлениях Z , Н/м ²	Полная потеря давления на участке P , Н/м ²	Суммарные потери давления на участке от начала сети $\sum(R+P)$, Н/м ²
					На 1 пог. метре, $R_{тр}$	На всем участке, R					
1	2535	400	5,6	11,5	0,86	9,89	19,2	2,58	49,53	59,42	59,42
2	5036	450	8,8	6	1,71	10,26	47,4	0,215	10,19	20,45	79,87
3	7560	500	10,7	6	2,17	13,02	70,0	0,118	8,26	21,28	101,15
4	10014	560	11,3	21,5	2,08	44,72	78,1	0,24	18,74	63,5	164,65

По суммарной производительности системы приточной вентиляции и полной потере давления в ней подбирается центробежный вентилятор по характеристическим зависимостям. В данном случае по рис. П.1.6 (прил. П1) выбранный вентилятор (номер и скорость вращения его колеса) находится по точке пересечения двух взаимно перпендикулярных линий, отвечающих производительности и потере напора в рассчитанной системе.

Точка пересечения этих линий в нашем случае лежит ниже линии, отвечающей основной характеристике вентилятора. Поэтому выбираем вентилятор, основная характеристика которого лежит выше точки пересечения. Это будет вентилятор Е 6,3-100-1 со скоростью вращения колеса 935 об/мин. Этот вентилятор способен преодолевать потерю напора, равную 250 Н/м², что выше расчетной потери напора, равной 164,65 Н/м².

Для согласования потери напора, преодолеваемой выбранным вентилятором ($P_{прин}$), и расчетной потери напора ($P_{расч}$) в вентсистеме необходимо на последнем участке воздуховода системы перед вентилятором установить добавочное искусственное сопротивление: дроссель-клапан. Величина коэффициента местного сопротивления дроссель-клапана, который определяет его модель, может быть рассчитана по формуле

$$\xi_{д-к} = 2 \frac{P_{прин} - P_{расч}}{v_4^2 \cdot v} = 2 \cdot \frac{175 - 164,65}{78,1} = 0,26. \quad (5.7)$$

По полученному значению коэффициента местного сопротивления по табл. 5.23 подбираем дроссель-клапан. Таким коэффициентом местного сопротивления обладает дроссель-клапан с двумя створками, повернутыми к оси на 20° . Для согласования потери напора, преодолеваемой выбранным вентилятором ($P_{\text{прин}}$), и расчетной потери напора ($P_{\text{расч}}$) в вент-системе необходимо на последнем участке воздуховода системы перед вентилятором установить добавочное искусственное сопротивление: дроссель-клапан. Величина коэффициента местного сопротивления дроссель-клапана, который определяет его модель, может быть рассчитана по формуле

$$\xi_{\text{д-к}} = 2 \frac{P_{\text{прин}} - P_{\text{расч}}}{v_4^2 \cdot v} = 2 \cdot \frac{175 - 164,65}{78,1} = 0,26. \quad (5.7)$$

По полученному значению коэффициента местного сопротивления по табл. 5.23 подбираем дроссель-клапан. Таким коэффициентом местного сопротивления обладает дроссель-клапан с двумя створками, повернутыми к оси на 20° .

5.4. Расчет системы вытяжной вентиляции

Расчёт системы вытяжной вентиляции по схеме (рис. 5.2).

Расчёт проводится по методике, приведенной для расчёта приточной вентиляции, с использованием данных табл. 5.6.

5.4.1. Расчёт потерь напора на первом участке

Для обеспечения производительности системы на первом участке $L_1=4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ диаметр воздуховода должен быть 500 мм, а фактическая производительность будет $4019 \text{ м}^3/\text{ч}$, скорость движения воздуха $5,7 \text{ м/с}$, скоростное давление $19,5 \text{ Н/м}^2$, коэффициент сопротивления трения $0,656 \text{ Н/м}^2$ на 1 м. п. На первом участке местными сопротивлениями будут местный отсос, поворот воздуховода на 90° и диффузор. Предположим, что местным отсосом будет бортовой отсос, имеющий коэффициент местного сопротивления, равный 3.0.

Коэффициент местного сопротивления поворота на 90° , как и для приточной вентиляции при отношении $\frac{v}{a_{\text{экв}}} = 1,5$ по табл. 5.16 будет равен 0.17. Коэффициент местного сопротивления диффузора находим по табл. 5.19. Его значение определяется отношением $\frac{F_0}{F_1}$ и углом α . Изменим диаметр воздуховода на 1 калибр, т.е. примем его равным 560 мм. Скорость движения воздуха на следующем участке будет равной V_2 .

$$V_2 = \frac{7100}{3600 \cdot F_2}$$

$$F_2 = 0,785 \cdot d_1^2 = 0,785 \cdot 0,56^2 = 0,246 \text{ м}^2.$$

$$V_2 = \frac{7100}{3600 \cdot 0,246} = 8,02 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \text{ что соответствует условию, что } 6 < V_2 < 12$$

$$F_1 = 0,785 \cdot d_0^2 = 0,785 \cdot 0,5^2 = 0,196 \text{ м}^2.$$

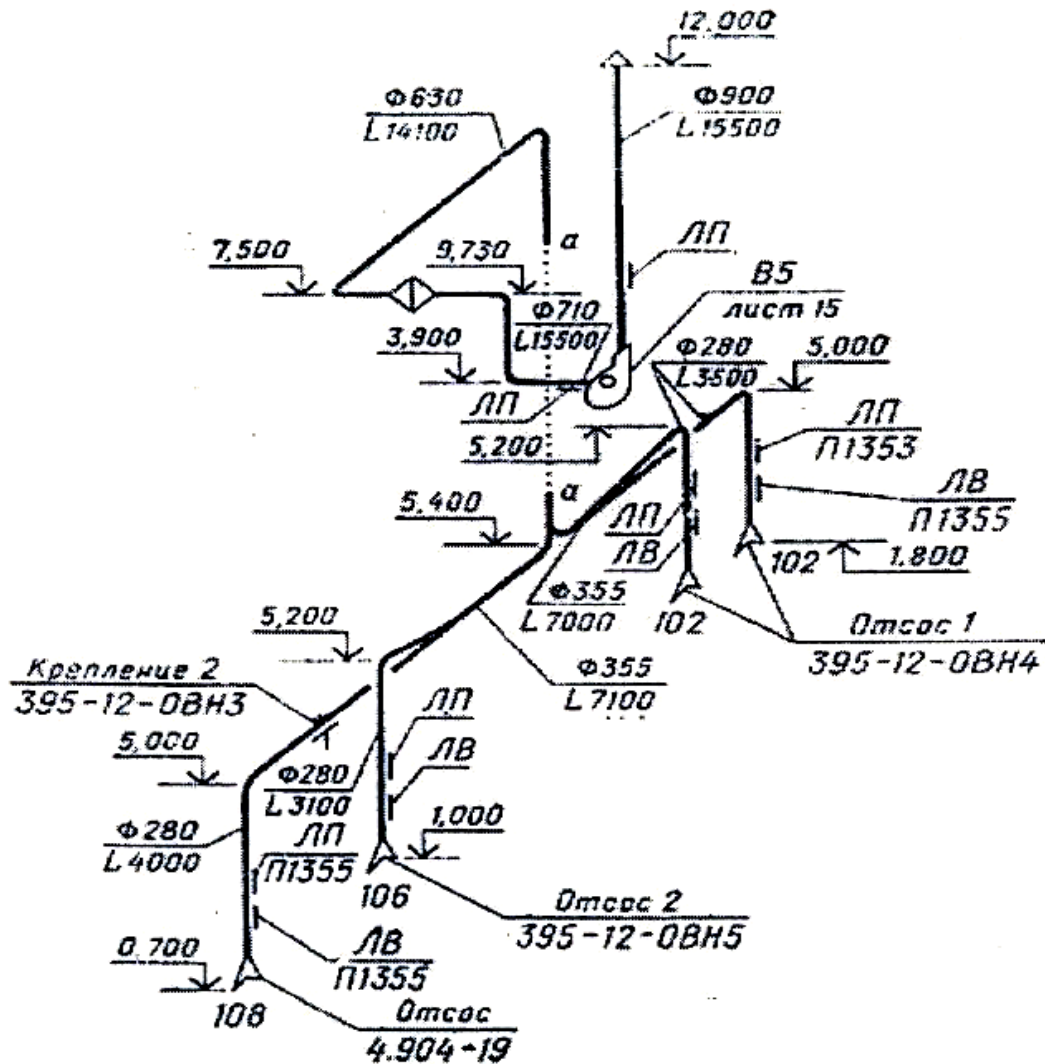


Рис. 5.2. Схема вытяжной системы вентиляции

Для $\frac{F_1}{F_2} = \frac{0,196}{0,246} = 0,769$ и угле α , принятом 16° , значение $\zeta_{\text{дифф}}$ определяем

методом экстраполяции по графической зависимости в координатах $\frac{F_1}{F_2}$ - $\zeta_{\text{дифф}}$ (рис. 5.3 для $\alpha = 16^\circ$). Оно получилось равным 0,06. Падение

напора на трение R , Н/м^2 может быть рассчитано по формуле

$$R_1 = R_{\text{тр1}} \cdot l_1, \tag{5.7}$$

$$R_1 = R_{\text{тр1}} \cdot (l_g + l_2) = 0,656 \cdot (4,3 + 6) = 0,656 \cdot 10,3 = 6,76 \text{ Н/м}^2,$$

$$Z_1 = (3 + 0,17 + 0,06) \cdot 19,5 = 62,99 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_1 = R_1 + Z_1 = 6,76 + 62,99 = 69,5 \text{ Н/м}^2.$$

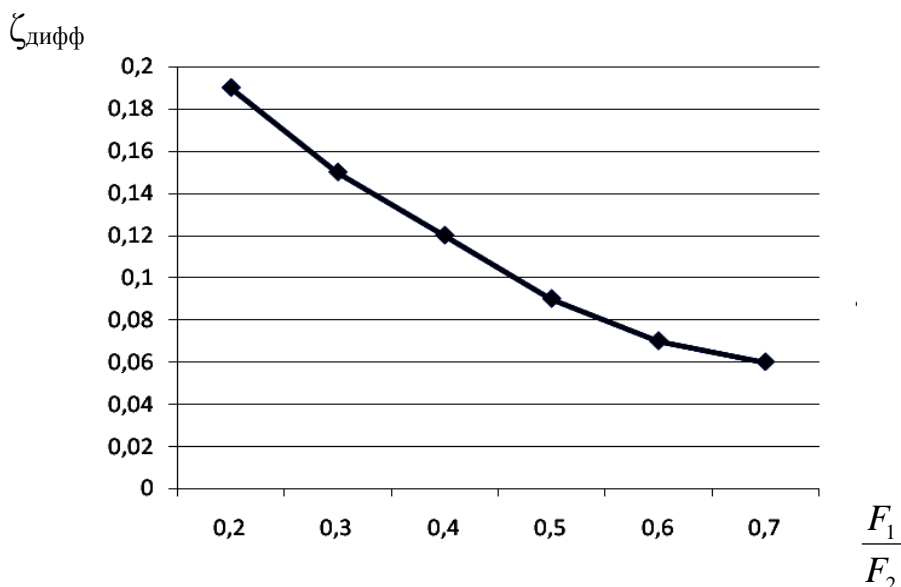


Рис. 5.3 Зависимость $\zeta_{\text{дифф}}$ от $\frac{F_1}{F_2}$

5.4.2. Расчёт потерь напора на втором участке

Расчетный объём воздуха, проходящего по второму участку воздуховода системы, составляет $L_2=7100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Диаметр воздуховода 560 мм, скорость движения воздуха – 8,1 м/с. Фактическая производительность составит $7178 \text{ м}^3/\text{ч}$. Коэффициент сопротивления трения $1,09 \text{ Н/м}^2$ на 1 м. п. скоростное давление – $39,3 \text{ Н/м}^2$.

Потеря давления на трение на 2-м участке составит

$$R_2 = R_{\text{тр2}} \cdot l_2 = 1,09 \cdot 6 = 6,54 \text{ Н/м}^2.$$

Местными сопротивлениями на 2-м участке будут сопротивление тройника для угла 90° для прохода, которое может быть определено по табл. 5.18 по отношению $\frac{F_0}{F_n}$ и $\frac{L_0}{L_c}$, и поворот воздуховода на 75° .

Диаметр воздуховода для второго ответвления с производительностью $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и для скорости движения воздуха в нем не более 6 м/с должен быть равным 450 мм.

Тогда для $\frac{F_0}{F_n} = \frac{(0,45)^2}{(0,56)^2} = \frac{0,2025}{0,3136} = 0,646$ и $\frac{L_0}{L_c} = \frac{3100}{7100} > 0,436$ коэффици-

ент местного сопротивления составит 0,86. Коэффициент местного сопротивления поворота воздуховода на 75° будет равен 0,15.

$$\text{Тогда } Z = (\xi_{\text{тр}} + \xi_{\text{пов}}) \cdot \frac{v_c^2}{2} = (0,86 + 0,15) \cdot 39,3 = 43,2 \text{ Н/м}^2.$$

Общая потеря давления на втором участке составит $P_2 = R_2 + Z_2 = 6,54 + 43,23 = 49,77 \text{ Н/м}^2$.

5.4.3. Расчёт потери напора на третьем участке

Расчётный объем воздуха проходящего по третьему участку воздухопровода будет равен $L_3=14100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Определим диаметр воздухопровода, выполняя условие по интервалу скоростей движения воздуха (от 6 до 12 м/с). По табл. 5.27 диаметр воздухопровода на третьем участке будет равен 710 мм, скорость движения воздуха 9,8 м/с, коэффициент трения $(0,121 \cdot 9,8)=1,1858 \text{ Н/м}^2$ на 1 п.м, скоростное давление $(5,99 \cdot 9,8)=58,7 \text{ Н/м}^2$. Местными сопротивлениями на третьем участке будут штанообразный тройник и 4 поворота воздухопровода. Коэффициент местного сопротивления штанообразного тройника (рис. 5.4 и рис.5.5) определяется по табл. 5.28 и табл. 5.29 по величинам отношений $\frac{F_n}{F_c}$ и $\frac{L_0}{L_c}$.

$$\text{Значение } \frac{F_0}{F_c} = \frac{d_2^2}{d_3^2} = \frac{0,56^2}{0,71^2} = \frac{0,3136}{0,5041} = 0,62,$$

$$\frac{F_0}{F_c} = \frac{0,45^2}{0,71^2} = \frac{0,2025}{0,5041} = 0,402,$$

$$\frac{L_0}{L_c} = \frac{7000}{14100} = 0,496.$$

Таблица 5.28

Значения $\xi_{\text{п}}$ штанообразного приточного тройника
Приточный тройник – проход

$F_{\text{п}}/F_c$	$L_{\text{п}}/L_c$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,9
0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	1,6
0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	2,5
0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4	0,9	3,6
0,7	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0,5	1,2	9,8
0,8	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0	0,7	1,6	12,8
0,9	0,2	0,1	0,1	0	0	0	0,9	2	16,2
1	0,1	0,1	0	0	0	0	1,1	2,5	20

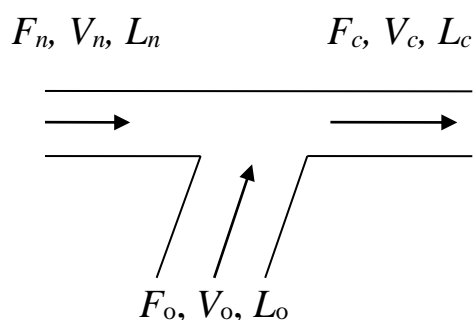


Рис. 5.4. Штаннообразный тройник

Таблица 5.29

Значения ξ_{Π} штаннообразного приточного тройника.
Вытяжной тройник – проход

F_{Π}/F_c	F_{Π}/F_c	L_{Π}/L_c								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	-0,2	-3,4	-25
	0,6	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,1	-1,9	-16
	0,7	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,2	-1	-11,3
	0,8	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	-0,6	-7,6
0,6	0,2	0,2	0,2	0,1	-0,1	-1	-3	-8	-26	-140
	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	-0,1	-1	-3,8	-14	-79
	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	-0,2	-2	-8	-50
	0,5	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0	-1,2	-5,4	-36
	0,6	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,1	-0,8	-3,5	-25
0,7	0,2	0,2	0,2	0,1	-0,2	-1,3	-4	-12	-38	-200
	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	-0,1	-1,4	-4,9	-18	-100
	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	-0,5	-2,7	-10	-61
	0,5	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,1	-1,6	-8	-47
	0,6	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0	-1,3	-7	-39
0,8	0,2	0,2	0,2	0,1	-0,4	-1,6	-5,3	-16	-52	-278
	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	-0,3	-1,8	-6,4	-23	-128
	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	-0,8	-3,6	13	-77
	0,5	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,5	-2,9	-11	-58
	0,6	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,4	-2,6	-9	-52
0,9	0,2	0,2	1,2	0	-0,6	-2,4	-7,6	-21	-68	-350
	0,3	0,2	0,2	0,2	0	-0,7	-2,8	-9	-30	-166
	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0	-1	-4,5	-16	-97
	0,5	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,5	-3,2	-13	-77
	0,6	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,5	-3,2	-12	-69
1,0	0,2	0,2	0,1	-0,1	-0,8	-3,6	-10	-27	-85	-445
	0,3	0,2	0,2	0,1	-0,1	-1,2	-4,4	-13	-41	-225
	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0	-1,2	-5,6	-20	-115
	0,5	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,5	-3,3	-14	-80
	0,6	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,5	-3,2	-13	-70

Для этих значений коэффициент местного сопротивления штанообразного тройника будет равен 0,2.

$$R_3 = 1,1858 \cdot 20 = 23,7 \text{ Н/м}^2,$$

$$Z_3 = (0,2 + 4 \cdot 0,17) \cdot 58,7 = 51,65 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_3 = 23,7 + 51,65 = 75,36 \text{ Н/м}^2.$$

Полученные данные расчетов сводим в табл. 5.30.

Таблица 5.30

Сводная таблица расчета вытяжной вентиляции

№ участка	Количество воздуха L , м ³ /л	Диаметр d	Скорость движения воздуха V , м/с	Длина участка l , м	Потери давления на трение		Динамическое давление $V^2/2$, Н/м ²	Суммарный коэффициент местного сопротивления ξ	Потери давления на местном сопротивлении Z , Н/м ²	Потери давления на участке p , Н/м ²	Суммарные потери давления на участке от начала сети $\sum(R+P)$, Н/м ²
					На 1 п.м, $R_{гр}$	На всех участках R					
1	4000	500	5,7	10,3	0,656	6,76	19,5	3,23	62,99	69,75	69,75
2	7100	560	8,1	6	1,09	6,54	39,3	1,0	39,3	49,77	119,52
3	14100	710	9,9	20	1,186	23,7	58,7	0,88	51,65	75,36	194,88

По значению производительности системы 14100 м³/ч и полной потере давления в ней 194,8 Н/м² подбираем центробежный вентилятор по рис. П.1.7 (прил. П1). Это вентилятор Ц4-75-8 Е8.105-1 со скоростью вращения колеса 700 об/мин, способный при такой производительности преодолевать потерю напора ~ 480 Н/м². Для согласования расчетной потери давления с принятой (более высокой) на последнем участке воздуховода системы необходимо установить дроссель – клапан, т.е. искусственное сопротивление. Выбор дроссель – клапана проводится по значению коэффициента его местного сопротивления. Необходимое значение коэффициента местного сопротивления дроссель – клапана определяется по формуле (5.7).

$$\xi_{д-к} = \frac{489 - 194,9}{58,7} = 5,0.$$

Такой коэффициент местного сопротивления будет иметь трехстворчатый дроссель–клапан с углом поворота створок на 40°.

6. РАСЧЕТ И ПОДБОР КАЛОРИФЕРОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА

Необходимый микроклимат в помещениях обеспечивается с помощью систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в соответствии с требованиями СП 60.13330.2020 [7]. Система отопления может быть водяной, паровой или воздушной. В санитарно-гигиеническом плане предпочтение отдается водяным системам отопления, где в качестве теплоносителя используется вода с $t = 60-70$ °С. Для отопления больших производственных помещений применяется воздушное отопление, позволяющее быстро регулировать температуру, подаваемым в помещение нагретым в калориферах воздухом.

Расчет калориферов

1. Задаваясь весовой скоростью воздуха ν_γ , определяют необходимое живое сечение f_1 , м², калориферов по воздуху по формуле

$$f_1 = G / 3600 \cdot \nu_\gamma, \quad (6.1)$$

где G - количество нагреваемого воздуха в кг/ч.

2. Пользуясь техническими данными о калориферах (прил. 2), исходя из необходимой площади живого сечения f_1 , подбирают номер и количество устанавливаемых параллельно калориферов и определяют их действительную площадь живого сечения f . Количество калориферов должно быть минимальным.

3. Определяют действительную весовую скорость, кг/(с·м²), в калориферах по формуле

$$\nu_p = G / 3600 f. \quad (6.2)$$

4. При теплоносителе воде определяют количество проходящей через каждый калорифер воды $G_{\text{воды}}$, м³/ч, по формуле

$$G_{\text{воды}} = Q / [1000(t_{\text{гор}} - t_{\text{обр}})n], \quad (6.3)$$

где Q - расход тепла на нагрев воздуха, Вт, $t_{\text{гор}}$ - температура воды на входе в калориферы (°С); $t_{\text{обр}}$ - температура воды на выходе из калориферов; n - количество калориферов, параллельно включаемых по теплоносителю.

5. Определяют скорость воды в трубках калориферов ω , м³/ч по формуле

$$\omega = G_{\text{воды}} / 3600 \cdot f_{\text{тр}}, \quad (6.4)$$

где $f_{\text{тр}}$ - живое сечение трубок калориферов для прохода воды, м^2 .

6. По весовой скорости воздуха $v_{\text{у}}$ и скорости воды (при паре только по весовой скорости) по таблицам, составленным для каждой модели калорифера, находят коэффициент теплопередачи калорифера, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$.

7. Определяют необходимую поверхность нагрева калориферной установки F_y^1 , м^2 , по формуле

$$F_y^1 = \frac{Q}{K \left[T_{\text{ср}} - \frac{(t_{\text{н}} + t_{\text{в}})}{2} \right]}, \quad (6.5)$$

где $T_{\text{ср}}$ - средняя температура теплоносителя, $^\circ\text{С}$; $t_{\text{н}}$ - начальная температура нагреваемого воздуха, $^\circ\text{С}$; $t_{\text{в}}$ - конечная температура нагретого воздуха, $^\circ\text{С}$.

Средняя температура теплоносителя равна:

а) при теплоносителе воде

$$T_{\text{ср}} = (t_{\text{гор}} + t_{\text{обр}}) / 2;$$

б) при насыщенном паре давлением до 0,3 $\text{кгс}/\text{см}^2$:

$$T_{\text{ср}} = 100 \text{ } ^\circ\text{С};$$

в) при насыщенном паре давлением свыше 0,3 $\text{кгс}/\text{см}^2$:

$$T_{\text{ср}} = t_{\text{пара}},$$

где $t_{\text{пара}}$ - температура насыщенного пара, соответствующая его давлению.

8. Определяют общее количество установленных калориферов n , шт, по формуле

$$n^1 = F_y^1 / F_{\text{к}}, \quad (6.6)$$

где $F_{\text{к}}$ - площадь поверхности нагрева одного калорифера выбранной модели.

9. Округляя количество калориферов до кратного их количества в первом ряду n , определяют действительную поверхность нагрева калориферной установки F_y , м^2 по формуле

$$F_y^1 = F_{\text{к}} n. \quad (6.7)$$

10. Определяют запас $З$, %, в поверхности нагрева по формуле

$$З = \frac{F_y - F_y^1}{F_y^1} \cdot 100\%. \quad (6.8)$$

Запас должен составлять 10-20%. При большем запасе следует принять другую модель или номер калорифера и произвести расчет снова.

11. По таблицам, приведенным в прил. 2, по весовой скорости воздуха определяют сопротивление калориферной установки по воздуху.

12. К полученным по таблицам сопротивлениям следует давать запас сопротивления по воздуху 10%, на сопротивление по воде - 20%.

Пример. Подобрать установку, состоящую из биметаллических калориферов типа КСК, для приточной вентиляционной камеры производственного помещения, работающей с перегревом воздуха (для отопления). Вентиляция общеобменная, рассчитываемая по расчетным параметрам Б наружного воздуха для холодного периода года. Расход нагреваемого воздуха $G = 40000 \text{ кг/ч} = 11,1 \text{ кг/с}$. Максимальный расход тепла на отопление $Q = 150000 \text{ Вт}$. Расчетная температура наружного воздуха $t_n = -26^\circ\text{C}$; температура в рабочей зоне помещения $t_{p,z} = 16^\circ\text{C}$. Теплоноситель - вода с параметрами $t_{гор} = 150^\circ\text{C}$, $t_{обр} = 70^\circ\text{C}$.

Решение. Определяем максимальный расход теплоты на вентиляцию:

$$Q_v = 11,1 \cdot 1005(16 + 26) = 466\,000 \text{ Вт.}$$

Общий максимальный расход теплоты

$$Q = 466\,000 + 150\,000 = 616\,000 \text{ Вт.}$$

Вычисляем условную конечную температуру приточного воздуха:

$$t_k = 16 + \frac{15000}{11,1 \cdot 1005} = 30^\circ\text{C}.$$

Задаемся массовой скоростью воздуха во фронтальном сечении $v_\gamma = 4 \text{ кг/(м}^2\text{с)}$ и определяем по формуле (6.1) необходимую площадь фронтального сечения установки калориферов по воздуху

$$f_1 = \frac{40000}{3600 \cdot 4} = 2,78 \text{ м}^2.$$

Устанавливаем два калорифера КСК3-11-02ХЛЗА, вычисляем действительную площадь фронтального сечения (прил. 2)

$$f = 1,66 \cdot 2 = 3,32 \text{ м}^2.$$

Определяем действительную массовую скорость воздуха во фронтальном сечении калориферов по формуле (6.2).

$$v\rho = \frac{40000}{3600 \cdot 3,32} = 3,35 \text{ кг/(м}^2\text{с)}.$$

По формуле (6.3) находим расход воды, проходящей через каждый калорифер

$$G_{\text{воды}} = \frac{616000}{4,19 \cdot 10^6 \cdot (150 - 70) \cdot 2} = 0,00092 \text{ м}^3\text{/с.}$$

Определяем скорость воды в трубках калориферов по формуле (6.4).

$$\omega = 0,00092/0,002576 = 0,36 \text{ м/с.}$$

Путем интерполирования значений v_γ и ω находим коэффициент теплопередачи калорифера

$$K = 37,3 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{с).}$$

Вычисляем необходимую площадь поверхности нагрева установки по формуле (6.5).

$$F_y^1 = \frac{616000}{37,3 \left(\frac{150+70}{2} - \frac{-26+30}{2} \right)} = 154 \text{ м}^2.$$

Определяем по формуле (6.6) необходимое число устанавливаемых калориферов

$$n = 154 / 83,12 = 1,85.$$

Ставим два калорифера общей площадью поверхности нагрева 166,24 м².

Находим процент избыточного теплового потока создаваемого калориферной установкой по сравнению с требуемым расходом теплоты

$$\xi = \frac{166,24 \cdot 37,3 \cdot 108 - 616000}{616000} \cdot 100\% = 9\% .$$

По массовой скорости воздуха во фронтальном сечении калориферов $v_\gamma = 3,35 \text{ кг/(м}^2\cdot\text{с)}$ определяем аэродинамическое сопротивление установленных калориферов по прил. 2

$$\Delta p_a = 53 \text{ Па.}$$

По скорости движения воды в трубках калорифера и по прил. 2 находим гидравлическое сопротивление калорифера

$$\Delta p_w = 34,25 \cdot 0,36^2 = 4,45 \text{ кПа.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование вентиляционных систем позволяет нормализовать воздух рабочей зоны: его чистоту, подвижность, комфортный температурно-влажностный режим. Современное производство характеризуется достаточным количеством выделением вредных веществ, поэтому при проектировании следует обеспечить нормируемые гигиенические условия воздуха рабочей зоны и микроклимата, сокращение расходов на вентиляционные сооружения, а также решение экологических задач.

При выборе технологических процессов следует отдавать предпочтение таким, которые характеризуются наименьшим количеством вредных производственных факторов. При конструировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации технологического оборудования должны предусматриваться соответствующие меры по предупреждению или снижению до минимума вредных выделений в воздух рабочих помещений. При этом важное значение имеют местные отсосы, встроенные в оборудование, позволяющие устранять вредности в местах их возникновения. Если невозможно полное устранение вредных выделений, следует максимально ограничить их распространение в рабочих зонах помещений до величин, не превышающих предельно допустимых.

Проведенные в данном пособии методики составления теплового баланса производственного помещения с учетом внутренних и наружных тепловых нагрузок и методики расчета системы механической вентиляции позволяют определить необходимый воздухообмен и потери давления в вентиляционной сети; провести подбор и расчет вентилятора с требуемыми характеристиками, подбор калорифера. Приведенные в приложении справочные данные помогут при проведении требуемых расчетов.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Комкин, А.И.** Расчет систем механической вентиляции: учеб. пособие / А.И. Комкин, В.С. Спиридонов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. - 182 с.
2. **Алиев, И.И.** Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учеб. пособие / И.И. Алиев. - М.: Высшая школа, 2000.
3. Территориальные строительные нормы ТСН 23-301-97 Строительная климатология для пунктов Нижегородской области
<https://docs.cntd.ru/document/1200005728/titles>
4. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны / Госстрой ССР.-М.: Стройиздат, 1988.-47с.
5. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» <https://docs.cntd.ru/document/573500115>
6. СП 2.1.3684-21 «Санитарно - эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно - противоэпидемических (профилактических) мероприятий» <https://docs.cntd.ru/document/573536177>
7. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» <https://docs.cntd.ru/document/573697256>
8. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Справочник проектировщика. Книга 1/ В.Н. Богословский [и др.]; под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1992. - 319 с.
9. Внутренние санитарно-технические устройства. в 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Справочник проектировщика. Книга 2 / Б. В. Баркалов, [и др.]; под ред. Н. Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1992. - 416 с.
10. Основы безопасности жизнедеятельности: учеб. пособие / Г.В. Пачурин [и др.]; 2-е изд., перераб. и доп. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - Н. Новгород: [Б. и.], 2014. - 269 с.
11. **Занько, Н. Г.** Безопасность жизнедеятельности: учебник / Н. Г. Занько, К. Р. Малаян, О. Н. Русак. - 17-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2021. - 704 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

1. Вентиляторы радиальные

Вентиляторы радиальные общего назначения (стальные) низкого и среднего давления.

Предварительный подбор вентилятора по заданной производительности L и оптимальному значению полного давления P_v производится по сводным графикам аэродинамических характеристик вентиляторов (рис. П.1.1), причем величина P_v уточняется по ближайшей характеристике сводного графика. Полученная точка со значениями Q и P_v принимается «рабочей точкой» вентилятора. Окончательный подбор вентилятора осуществляется по графикам индивидуальных характеристик.

Выбор типоразмера вентилятора сводится, как правило, к подбору машины, потребляющей наименьшее количество энергии, т.е. имеющей наибольший КПД в данной «рабочей точке».

На сводных графиках характеристики показаны в границах, рекомендуемых по энергетическим показателям. В графиках индивидуальных характеристик эти участки выделены утолщенными линиями. На графиках индивидуальных характеристик над кривыми давления указаны частоты вращения вентиляторов n , об/мин, а справа окружные скорости рабочих колес V , м/с. На этих графиках приведены линии постоянного КПД η , а также линии установочных мощностей N_y , кВт.

По выбранной «рабочей точке» на графиках индивидуальных характеристик находят полное условное обозначение индивидуальной характеристики вентилятора. По полученному условному обозначению рабочей характеристики вентилятора в табл. П1.1; табл.П1.7 и табл.П1.12 находят тип и установочную мощность двигателя, а также массу вентилятора.

Условное обозначение вентилятора на характеристиках и в табл. П1.1; П1.7; П1.12 составлено в такой последовательности:

1) условное обозначение типа вентиляторов:

Б - для В.Ц4-76; В для В.Ц14-46; Е - для В.Ц4-75;

2) номер вентилятора (согласно ГОСТ 10616-90* соответствует номинальному диаметру рабочего колеса, дм);

3) условное обозначение диаметра колеса (только для вентиляторов с промежуточными диаметрами колес):

090 - при $D = 0,900D_{\text{ном}}$; 095- при $D = 0,95 D_{\text{ном}}$;

100 - при $D = 1,00D_{\text{ном}}$; 105- при $D = 1,05D_{\text{ном}}$;

110 - при $D = 1,1D_{\text{ном}}$.

4) порядковый номер рабочей характеристики обозначается арабской цифрой - по возрастанию частот вращения для данного вентилятора;

5) буквенный индекс мощности обозначается прописной буквой (в том случае, когда на данной частоте вращения принята комплектация разными двигателями).

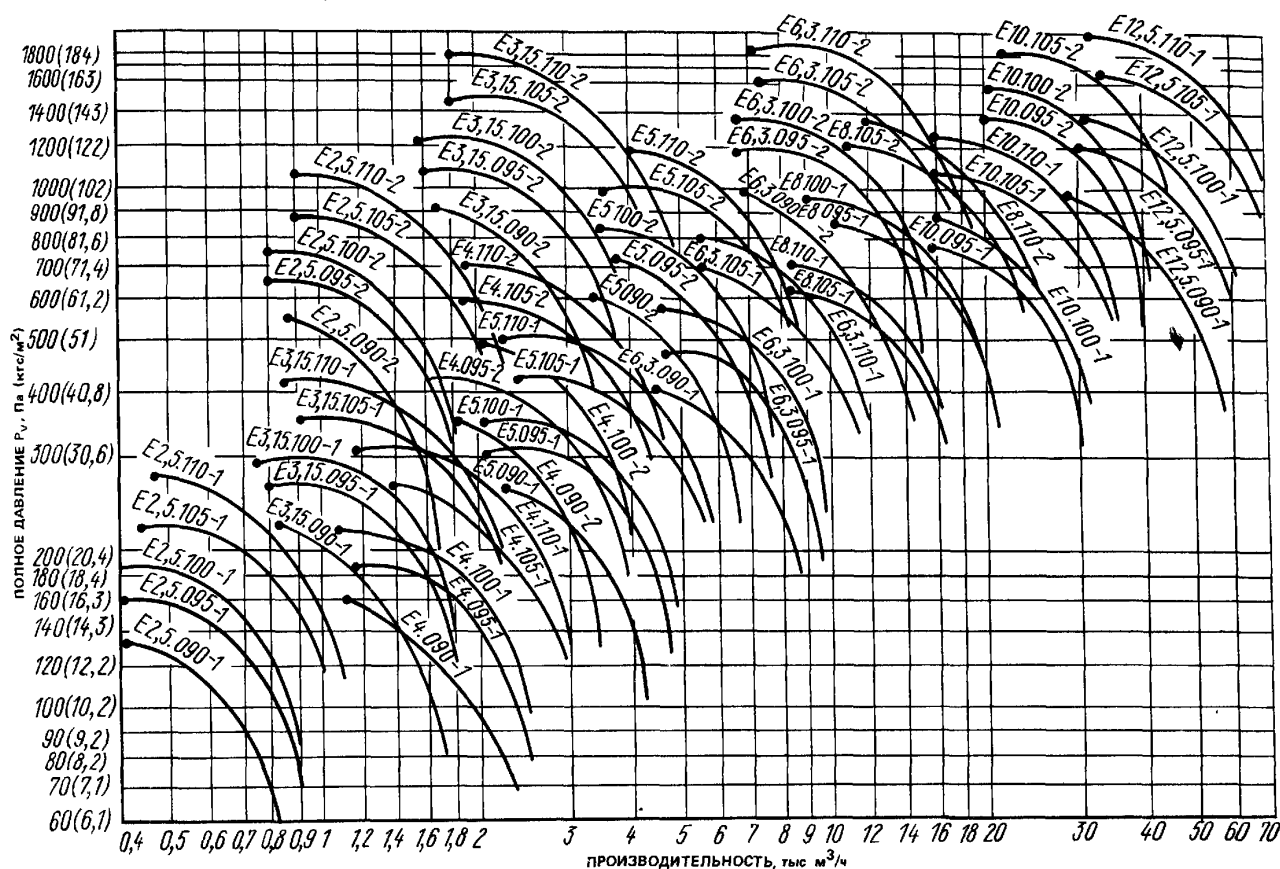


Рис. П. 1.1. Сводный график характеристик вентиляторов В.Ц4-75 (исполнение 1)

Примеры условных обозначений:

а) вентилятор В.Ц4-75 № 5 с диаметром рабочего колеса, равным $1.05 D_{\text{ном}}$, с частотой вращения $n = 1425$ об/мин (вторая характеристика), с двигателем мощностью $N_y = 2,2$ кВт. E5.105-2а;

б) вентилятор В.Ц4-75 № 16 с частотой вращения $n = 565$ об/мин (четвертая характеристика), с двигателем мощностью $N_y = 37$ кВт. E16-4;

в) вентилятор В.Ц4-76 № 10 с частотой вращения $n = 1280$ об/мин (пятая характеристика), с двигателем мощностью $N_y = 45$ кВт. Б10-5;

г) вентилятор В.Ц14-46 № 3,15 с частотой вращения $n = 1425$ об/мин (вторая характеристика), с двигателем мощностью $N_y = 2,2$ кВт. ВЗ, 15.- 2 в.

По заказу потребителя вентиляторы комплектуются виброизолирующими устройствами.

Вентиляторы В.Ц4-75 №2-12,5 с колесом, насаженным непосредственно на вал электродвигателя (исполнение 1 по ГОСТ 5976-90), изготавливаются с промежуточными диаметрами колес.

Вентиляторы В.Ц4-75 разработаны по новой аэродинамической схеме взамен вентиляторов В.Ц4-70 и имеют более высокий коэффициент полезного действия.

Сводный график характеристик вентиляторов В.Ц4-75, выполненных по конструктивному исполнению 1 (ГОСТ 5976-90), представлен на рис. П.1.1, индивидуальные характеристики на рис. П.1.2 – П. 1.8.

Технические данные вентиляторов В.Ц4-75 с промежуточными диаметрами колес (исполнение 1) приведены в табл. П.1.1.

Таблица П.1.1

**Технические данные вентиляторов В.Ц4-75 (исполнение 1)
с промежуточными диаметрами колес**

Условное обозначение характеристики	Вентилятор			Двигатель			Масса вентилятора (с двигателем), кг
	номер	диаметр колеса, % $D_{ном}$	частота вращения, n_b , об/мин	тип	мощность, кВт	частота вращения, n_b , об/мин	
1	2	3	4	5	6	7	8
E2,5.090-1	2,5	90	1380	4AA50A4	0,06	1380	24
E2,5.090-2	2,5	90	2750	4AA63A2	0,37	2750	27
E2,5.095-1	2,5	95	1380	4AA50A4	0,06	1380	24,2
E2,5.095-2a	2,5	95	2750	4AA63A2	0,37	2750	27,2
E2,5.095-2б	2,5	95	2740	4AA63B2	0,55	2740	27,2
E2,5.100-1	2,5	100	1380	4AA50A4	0,06	1380	24,8
E2,5.100-2	2,5	100	2740	4AA63B2	0,55	2740	27,3
E2,5.105-1	2,5	105	1370	4AA50B4	0,09	1370	24,5
E2,5.105-2a	2,5	105	2740	4AA63B2	0,55	2740	27,5
E2,5.105-2б	2,5	105	2840	4A71A2	0,75	2840	36,3
E2,5.110-1a	2,5	110	1370	4AA50B4	0,09	1370	24,6
E2,5.110-1б	2,5	110	1375	4AA56A4	0,12	1375	25,8
E2,5.110-2	2,5	110	2840	4A71A2	0,75	2840	36,4
E3,15.090-1a	3,15	90	1375	4AA56A4	0,12	1375	35,5
E3,15.090-1б	3,15	90	1365	4AA56B4	0,18	1365	35,5
E3,15.080-2	3,15	90	2810	4A71B2	1,1	2810	46,1
E3,15.095-1	3,15	95	1365	4AA56B4	0,18	1365	35,8
E3,15.095-2	3,15	95	2810	4A71B2	1,1	2810	46,4
E3,15.100-1	3,15	100	1365	4AA56B4	0,18	1365	36
E3,15.100-2a	3,15	100	2810	4A71B2	1,1	2810	46,6
E3,15.100-2б	3,15	100	2850	4A80A2	1,5	2850	48,9
E3,15.105-1a	3,15	105	1380	4AA63A4	0,25	1380	38,1

Продолжение табл. П.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
E3,15.105-16	3,15	105	1365	4AA63B4	0,37	1365	38,1
E3,15.105-2a	3,15	105	2850	4A80A2	1,5	2850	49,2
E3,15.105-26	3,15	105	2850	4A80B2	2,2	2850	52,2
E3,15.110-1	3,15	110	1365	4AA63B4	0,37	1365	38,3
E3,15.110-2	3,15	110	2850	4A80B2	2,2	2850	52,4
E4.090-1	4	90	885	4AA63A6	0,18	885	53
E4.090-2a	4	90	1365	4AA63B4	0,37	1365	53
E4.090-26	4	90	1390	4A71A4	0,55	1390	61,8
E4.095-1	4	95	885	4AA63A6	0,18	885	53,5
E4.095-2	4	95	1390	4A71A4	0,55	1390	62,3
E4.100-1	4	100	885	4AA63A6	0,18	885	53,9
E4.100-2	4	100	1390	4A71A4	0,55	1390	62,7
E4.105-1a	4	105	890	4AA63B6	0,25	890	54,3
E4.105-16	4	105	910	4A71A6	0,37	910	63,1
E4.105-2a	4	105	1390	4A71B4	0,75	1390	63,1
E4.105-26	4	105	1420	4A80A4	1,1	1420	65,4
E4.110-1a	4	110	890	4AA63B6	0,25	890	54,3
E4.110-16	4	110	910	4A71A6	0,37	910	63,1
E4.110-2a	4	110	1390	4A71B4	0,75	1390	63,1
E4.110-26	4	110	1420	4A80A4	1,1	1420	65,4
E5.090-1	4	90	910	4A71A6	0,37	910	89,4
E5.090-2	4	90	1420	4A80A4	1,1	1420	91,8
E5.095-1	5	95	900	4A71B6	0,55	900	90,3
E5.095-2	5	95	1415	4A80B4	1,5	1415	95,2
E5.100-1	5	100	900	4A71B6	0,55	900	91,1
E5.100-2	5	100	1415	4A80B4	1,5	1415	96
E5.105-1	5	105	915	4A80A6	0,75	915	94,3
E5.105-2a	5	105	1425	4A90L4	2,2	1425	105,5
E5.105-26	5	105	1435	4A100S4	3	1435	112,8
E5.110-1a	5	110	915	4A80A6	0,75	915	95,1
E5.110-16	5	110	920	4A80B6	1,1	920	97,6
E5.110-2a	5	110	1425	4A90L4	2,2	1425	106,3
E5.110-26	5	110	1435	4A100S4	3	1435	113,6
E6,3.090-1	6,3	90	920	4A80B6	1,1	920	160,2
E6,3.090-2a	6,3	90	1435	4A100S4	3	1435	176,2
E6,3.090-26	6,3	90	1430	4A100L4	4	1430	182,2

1	2	3	4	5	6	7	8
E6,3.095-1a	6,3	95	920	4A80B6	1,1	920	161
E6,3.095-1б	6,3	95	935	4A90L6	1,5	935	169,7
E6,3.095-2a	6,3	95	1430	4A100L4	4	1430	183
E6,3.095-2б	6,3	95	1445	4A112M4	5,5	1445	197
E6,3.100-1	6,3	100	935	4A90L6	1,5	935	171,7
E6,3.100-2	6,3	100	1445	4A112M4	5,5	1445	199
E6,3.105-1	6,3	105	950	4A100L6	2,2	950	186,3
E6,3.105-2	6,3	105	1445	4A132S4	7,5	1445	221,3
E6,3.110-1a	6,3	110	950	4A100L6	2,2	950	187,7
E6,3.110-1б	6,3	110	955	4A112MA6	3	955	201,7
E6,3.110-2a	6,3	110	1455	4A132S4	7,5	1455	222,7
E6,3.110-2б	6,3	110	1460	4A132M4	11	1460	238,7
E8.095-1a	8	95	950	4A112MB6	4	950	301
E8.095-1б	8	95	965	4A132S6	5,5	965	322
E8.100-1	8	100	965	4A132S6	5,5	965	322
E8.105-1	8	105	700	4A112MB6	3	700	301
E8.105-2	8	105	970	4A132M4	7,5	970	338
E8.110-1a	8	110	700	4A112MB6	3	700	301
E8.110-1б	8	110	720	4A132S8	4	720	322
E8.110-2a	8	110	970	4A132M6	7,5	970	338
E8.110-2б	8	110	975	4A132M4	11	975	380
E10.095-1	10	95	720	4A132M8	5,5	720	438
E10.095-2	10	95	975	4A160M6	15	975	505
E10.100-1	10	100	730	4A160S8	7,5	730	480
E10.100-2	10	100	975	4A160M6	15	975	505
E10.105-1	10	105	730	4A160M8	11	730	505
E10.105-2a	10	105	975	4A180M6	18,5	975	540
E10.105-2б	10	105	975	4A200M6	22	975	615
E10.110-1	10	110	730	4A160M8	11	730	505
E12,5.090-1	12,5	90	730	4A180M8	15	730	715
E12,5.095-1	12,5	95	735	4A200M8	18,5	735	790
E12,5.100-1	12,5	100	735	4A200M8	18,5	735	790
E12,5.105-1	12,5	105	735	4A225M8	30	735	875
E12,5.110-1a	12,5	110	735	4A225M8	30	735	875
E12,5.110-1б	12,5	110	735	4A250S8	37	735	1010

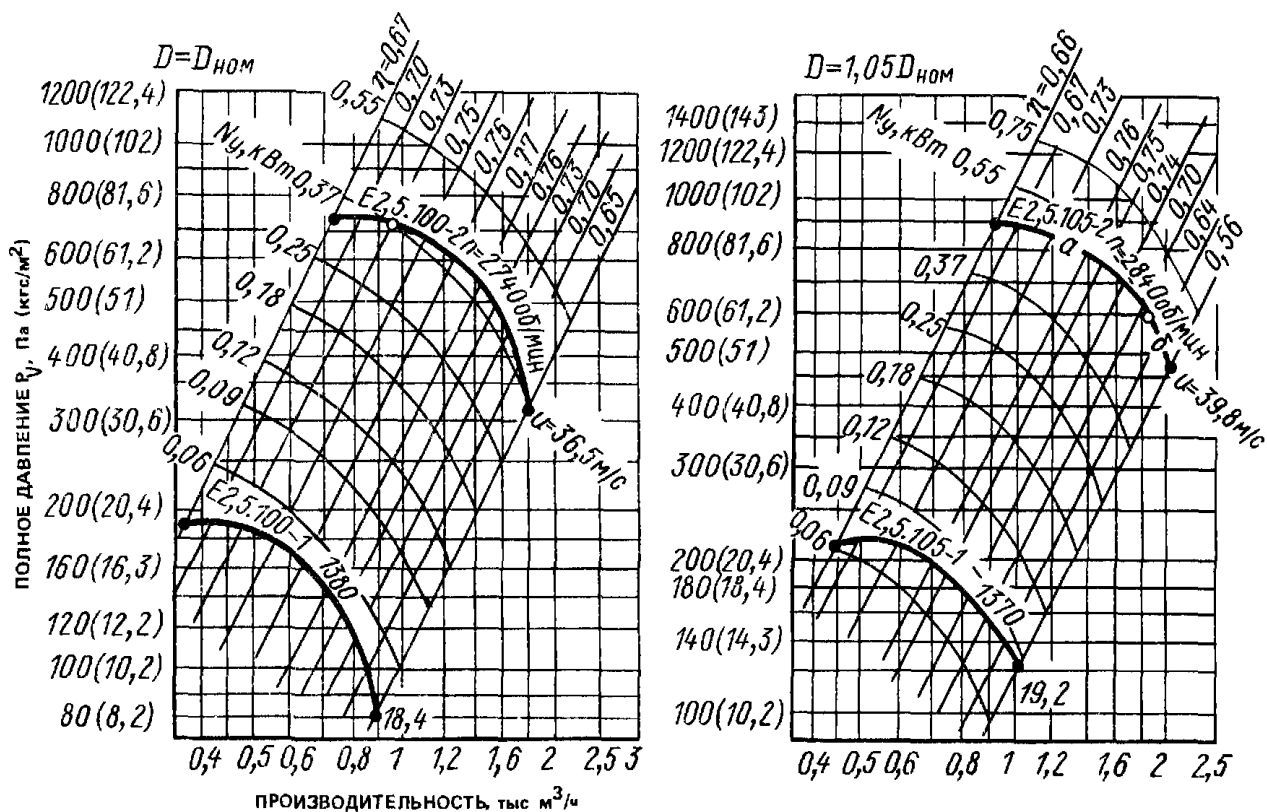
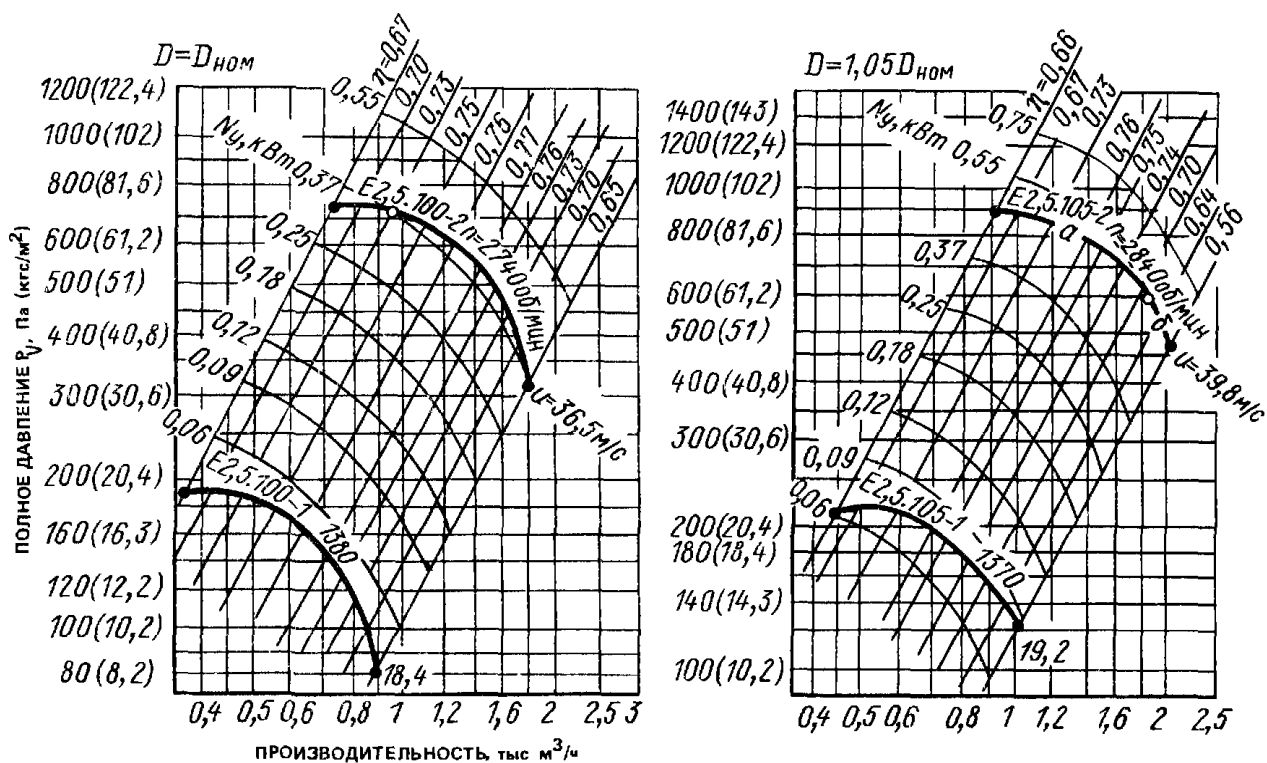


Рис. П.1.2. Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-2,5 (исполнение 1)

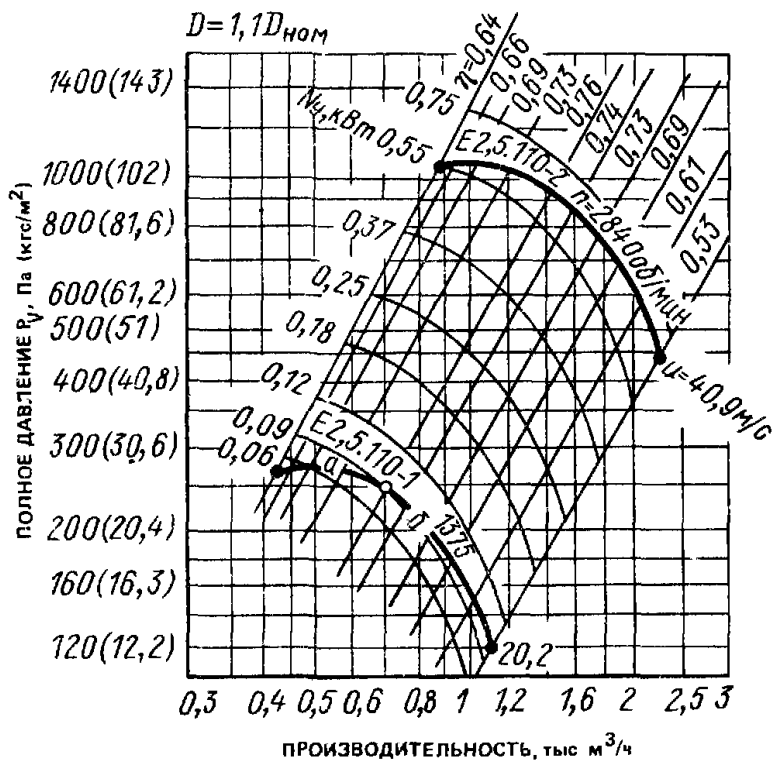


Рис. П.1.2. (окончание) Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-2,5 (исполнение 1)

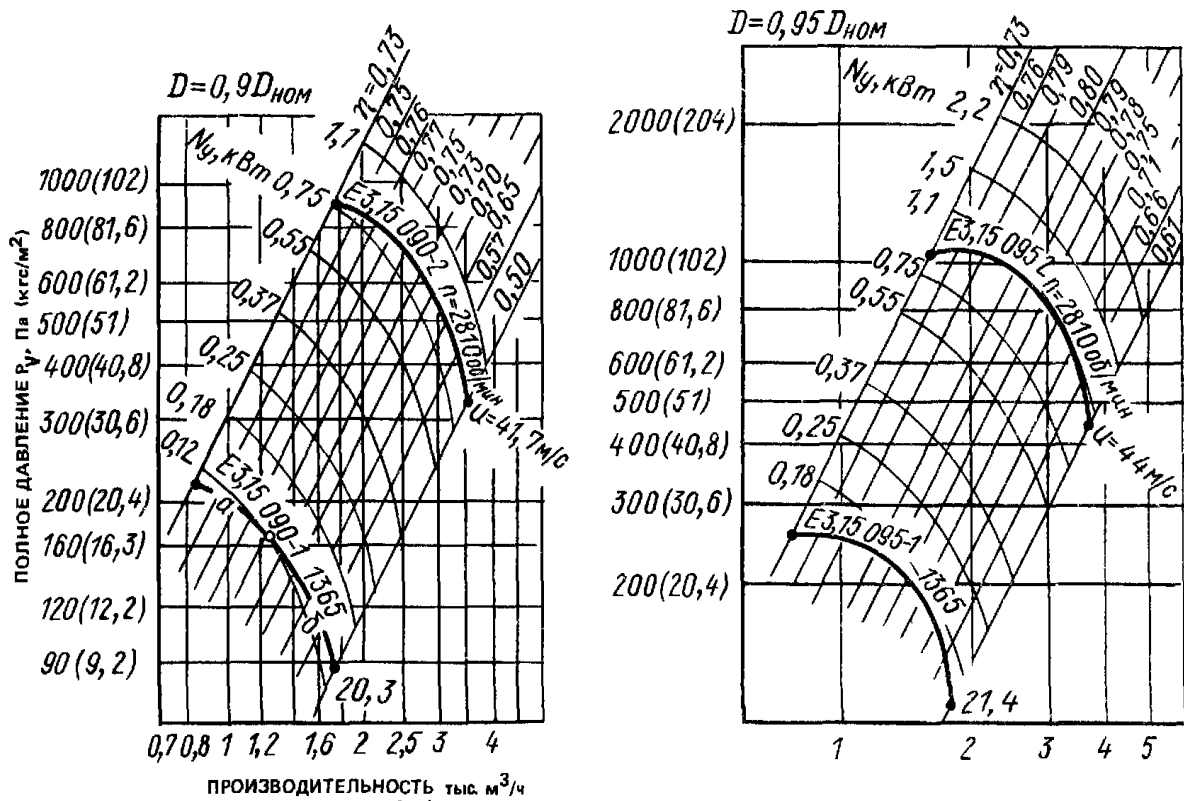


Рис. П.1.3. Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-3Д5 (исполнение 1)

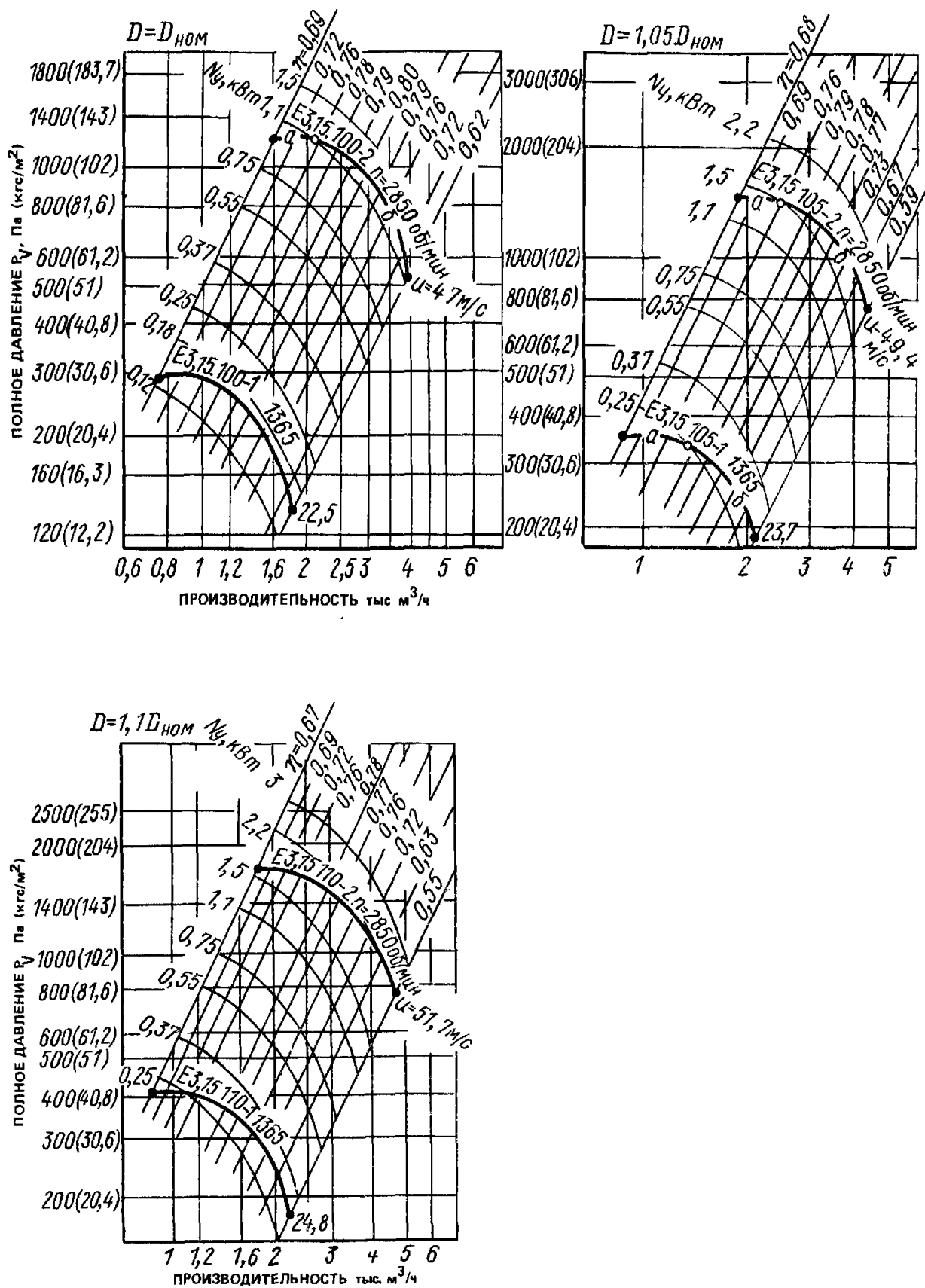


Рис. П.1.3. (окончание) Аэродинамические характеристики вентиляторов ВЦ4-75-3Д5 (исполнение 1)

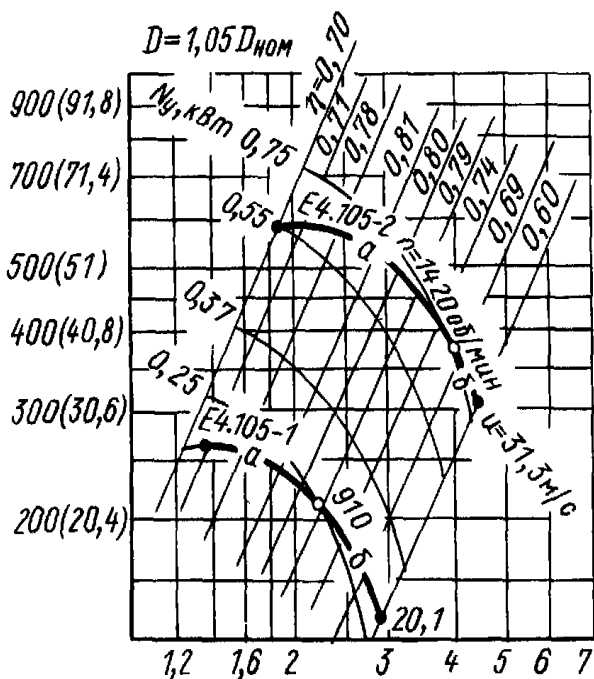
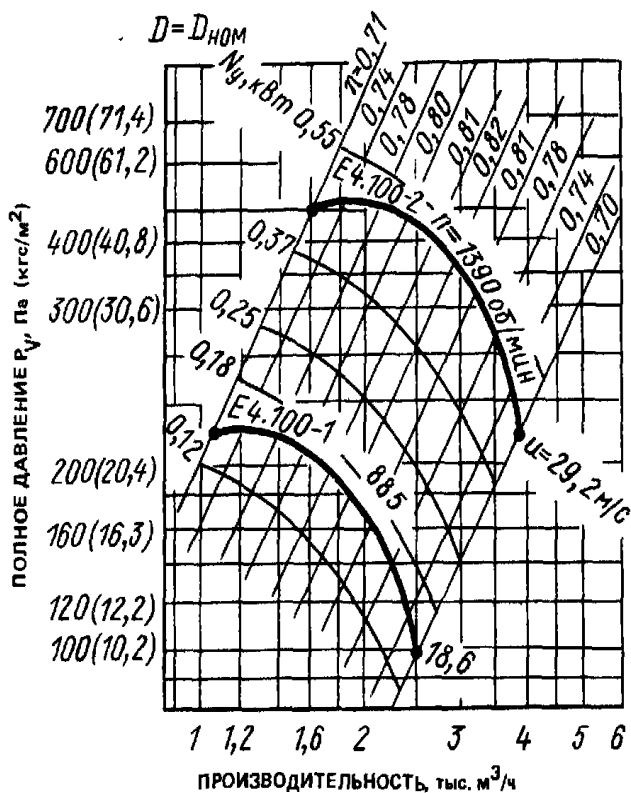
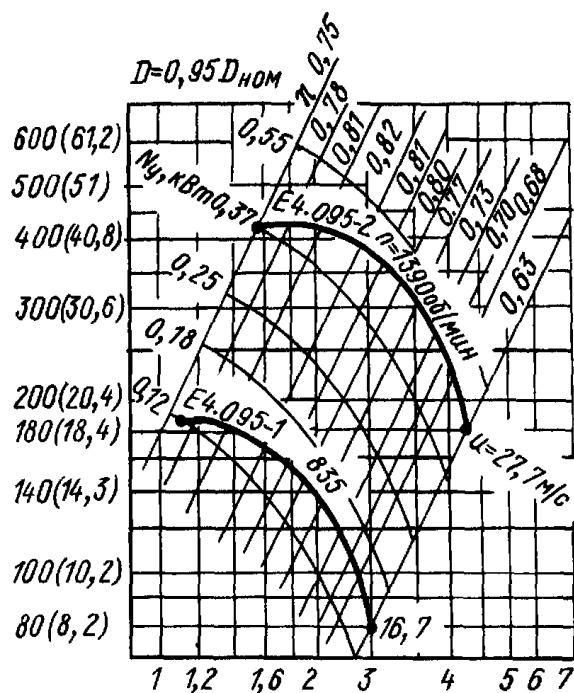
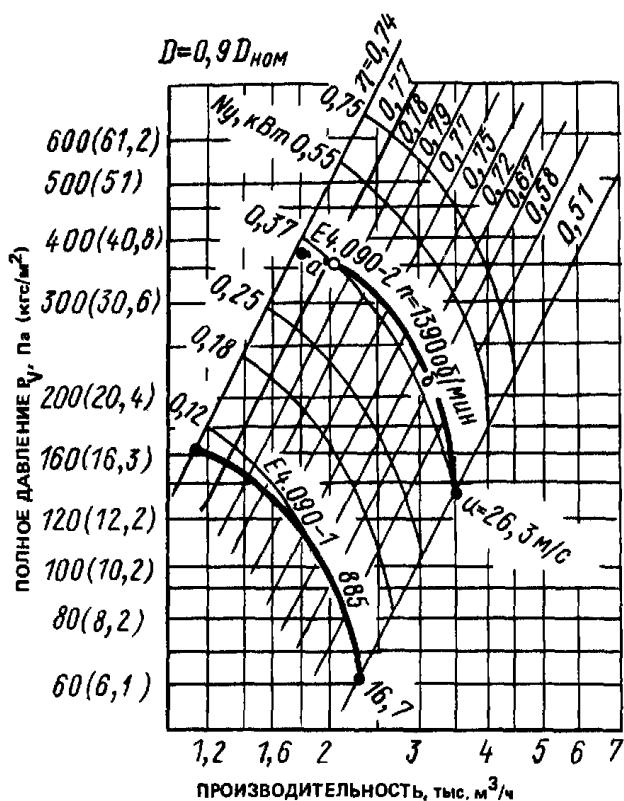


Рис. П.1.4. Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-4 (исполнение 1)

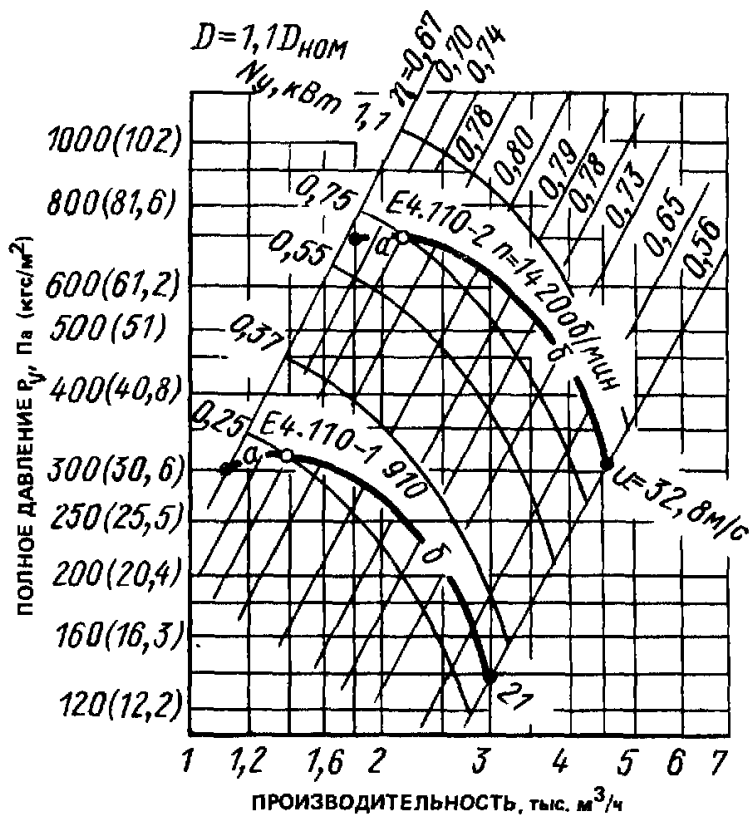


Рис. П.1.4. (окончание) Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-4 (исполнение 1)

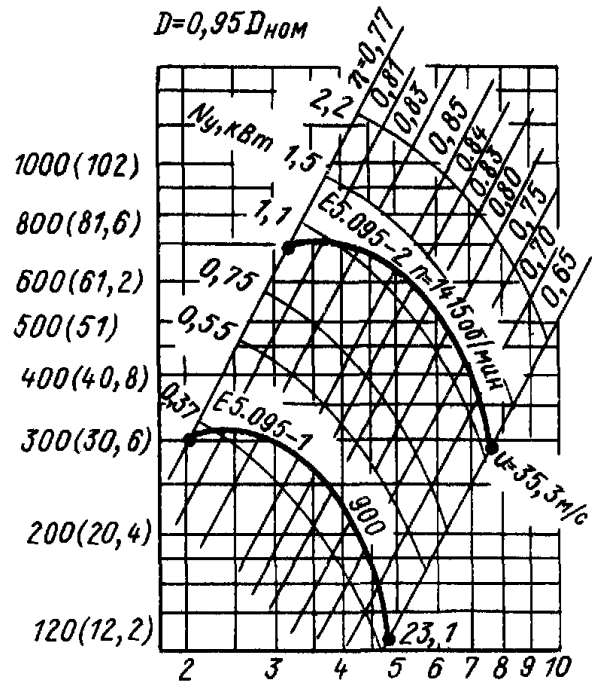
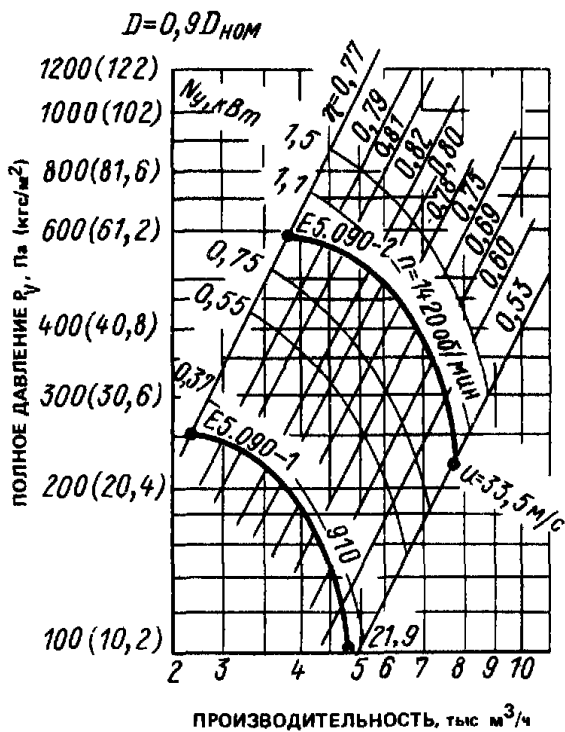


Рис. П.1.5. Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-5 (исполнение 1)

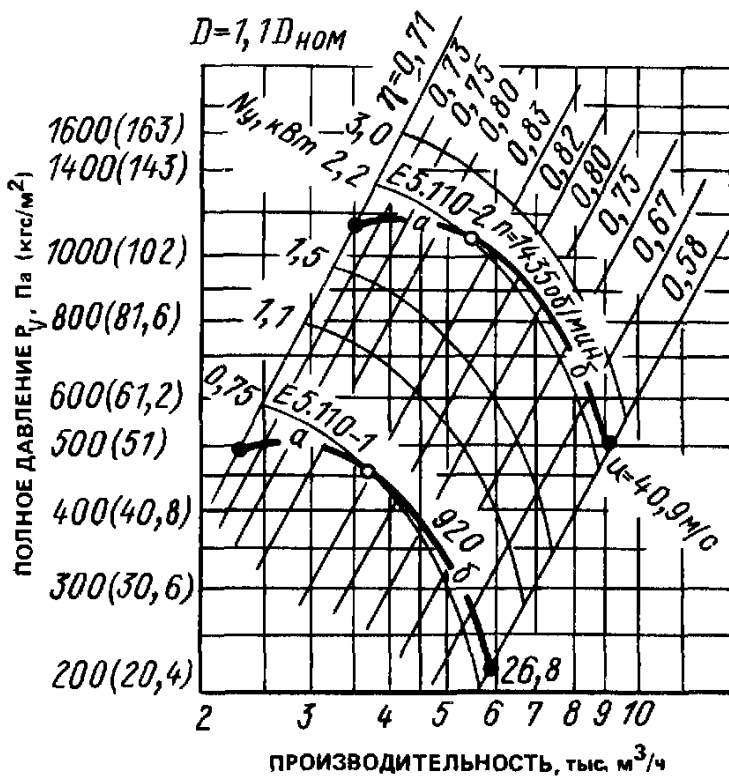
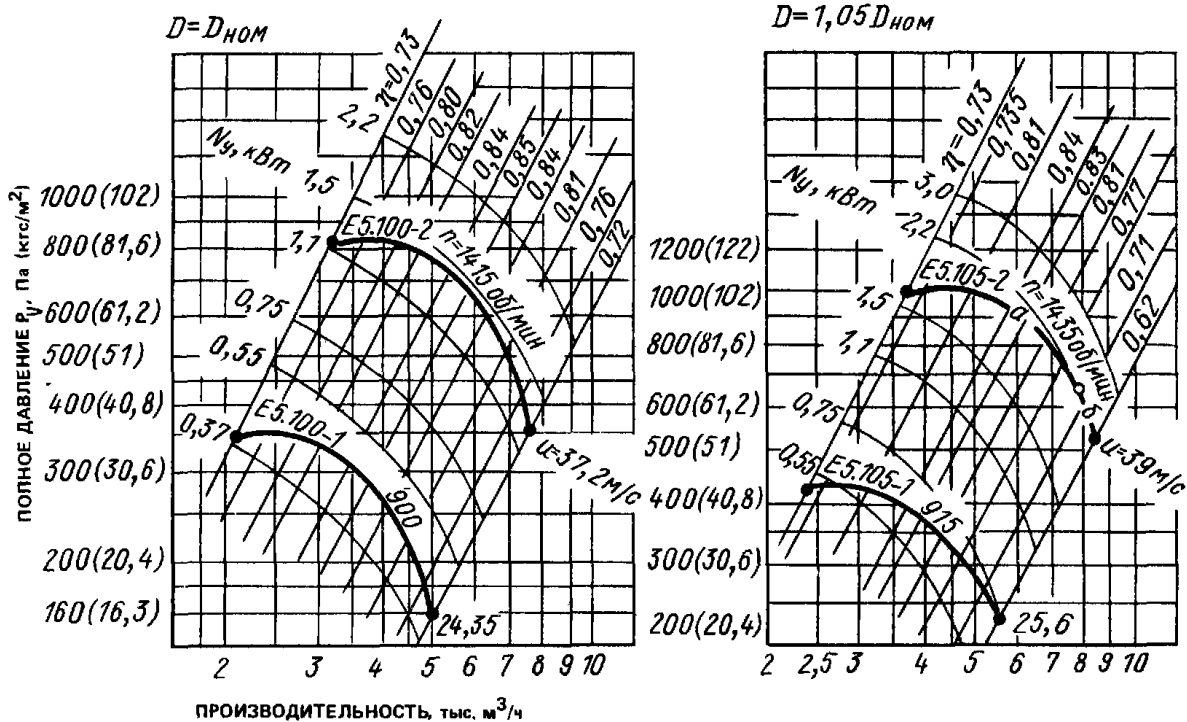


Рис. П.1.5. (окончание) Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-5 (исполнение 1)

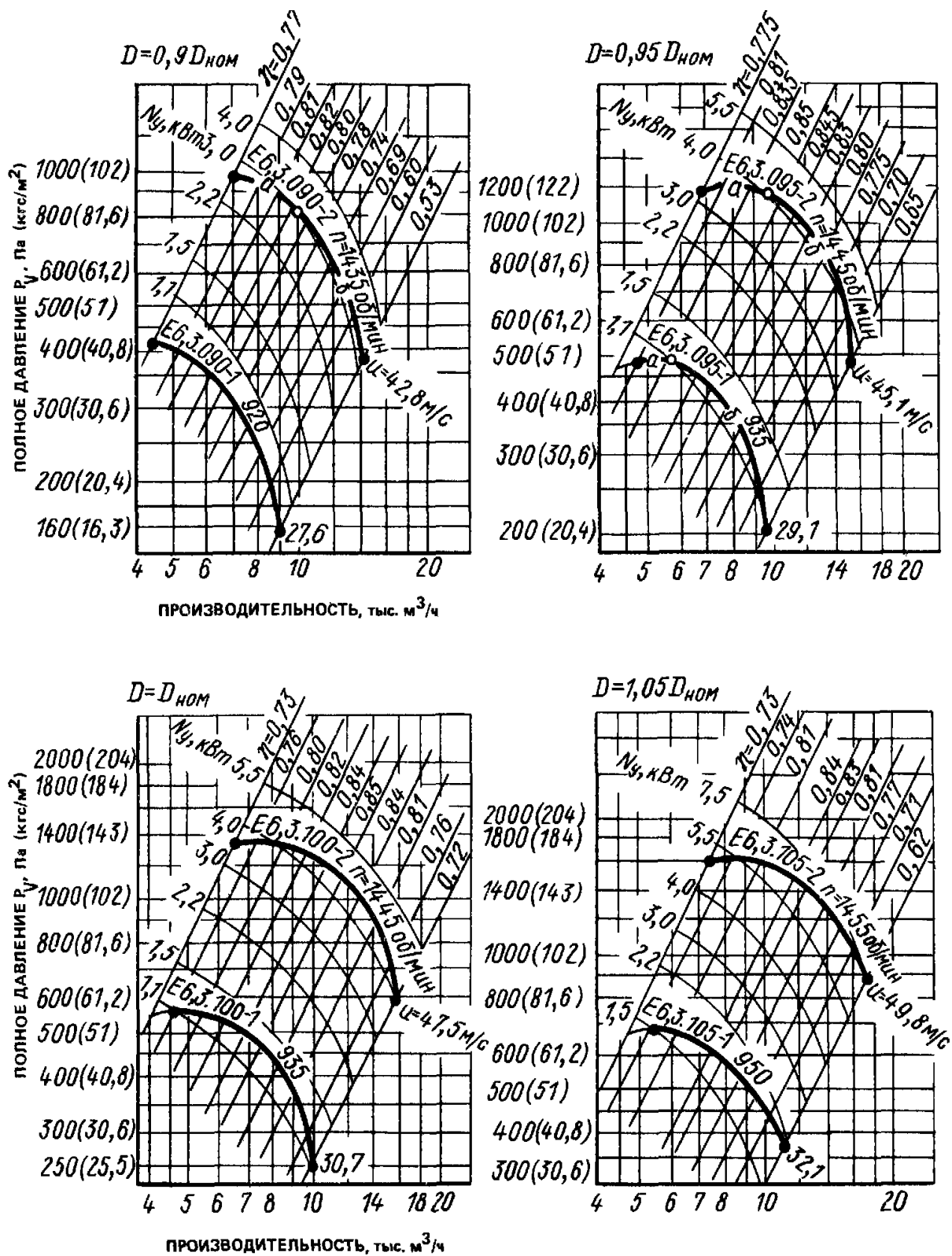


Рис. П.1.6. Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-6,3 (исполнение 1)

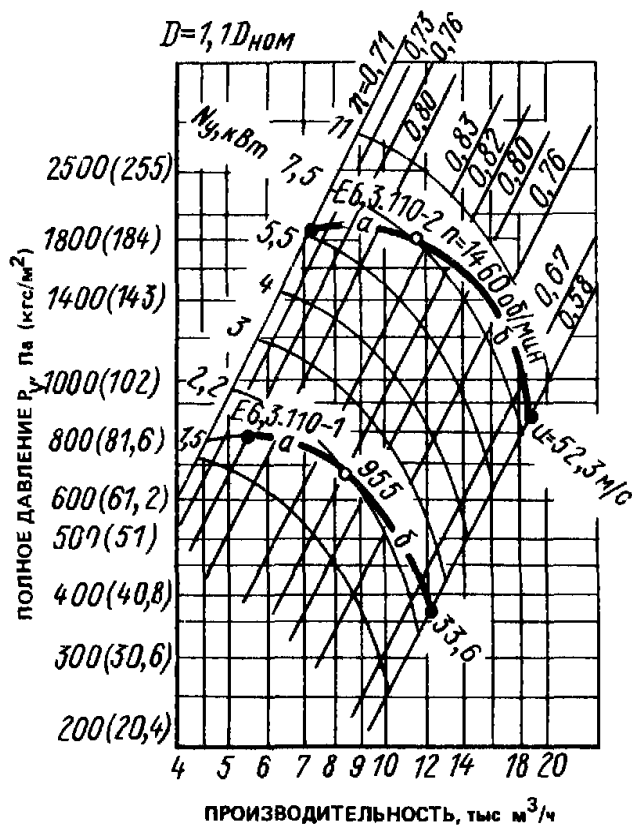


Рис. П.1.6. (окончание) Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-6,3 (исполнение 1)

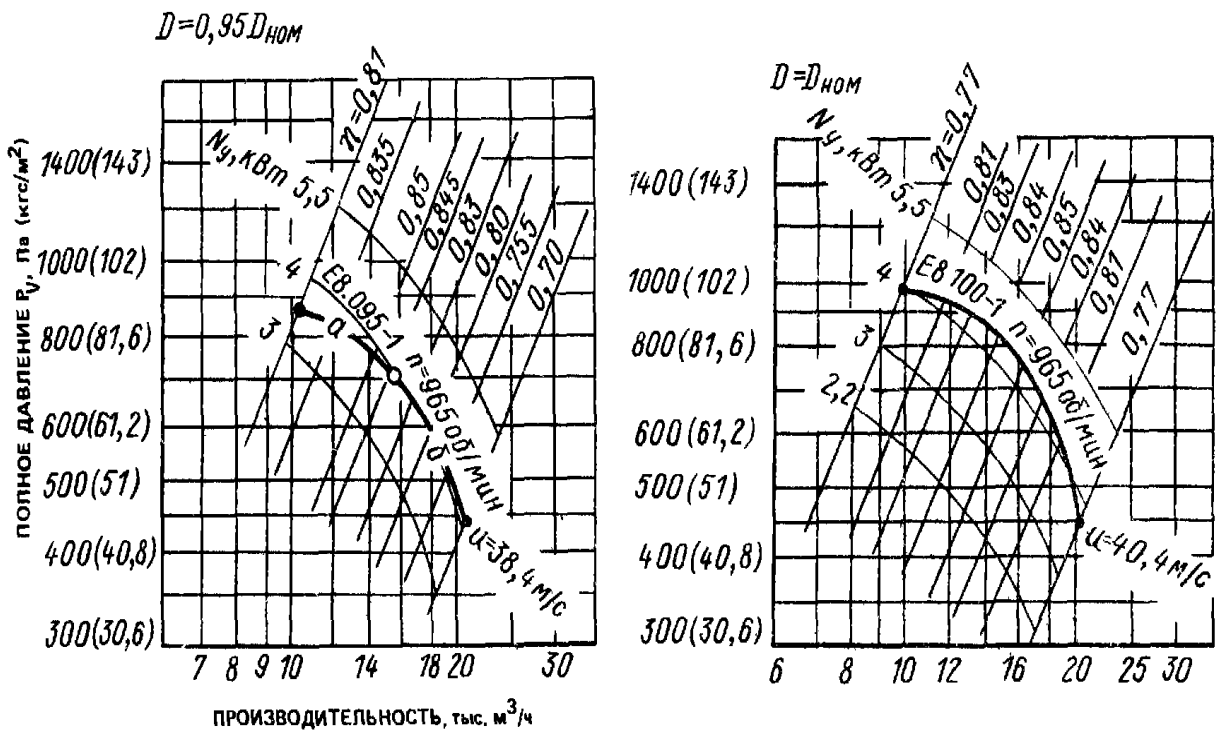


Рис. П.1.7. Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-8 (исполнение 1)

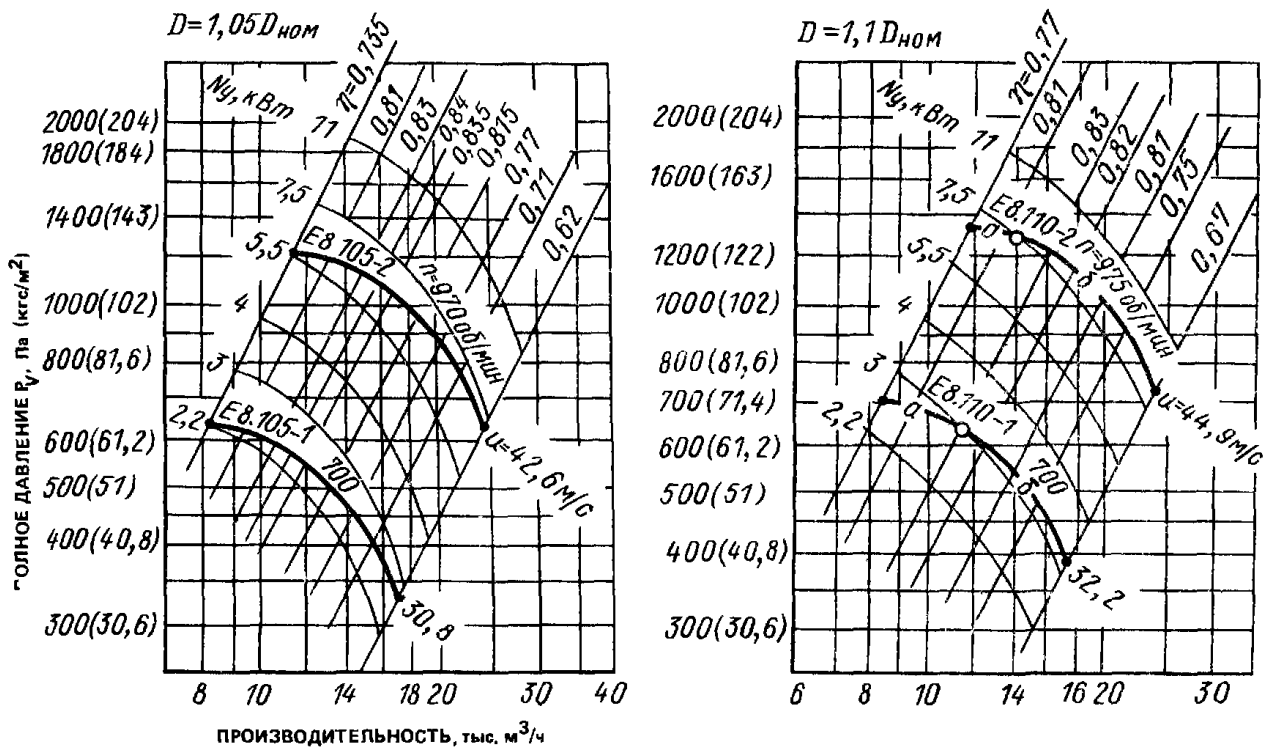


Рис. П.1.7. (окончание) Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-8 (исполнение 1)

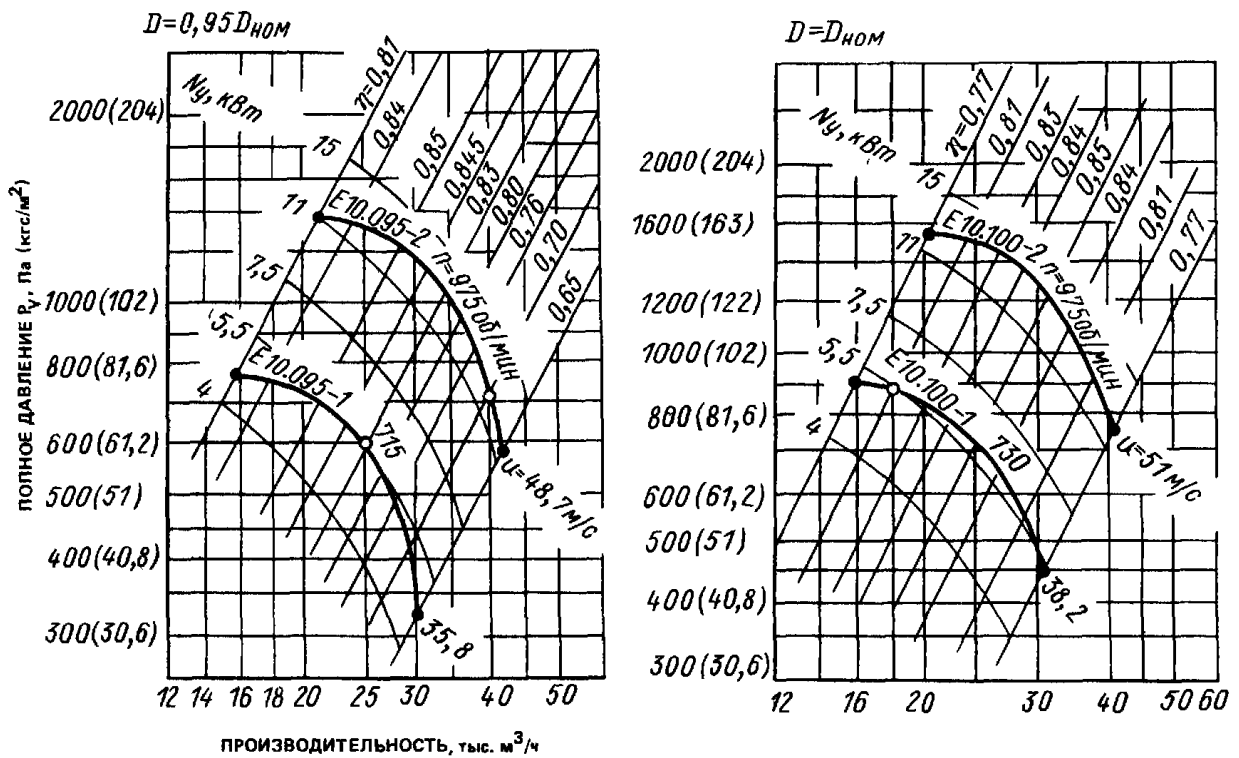


Рис. П.1.8. Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-10 (исполнение 1)

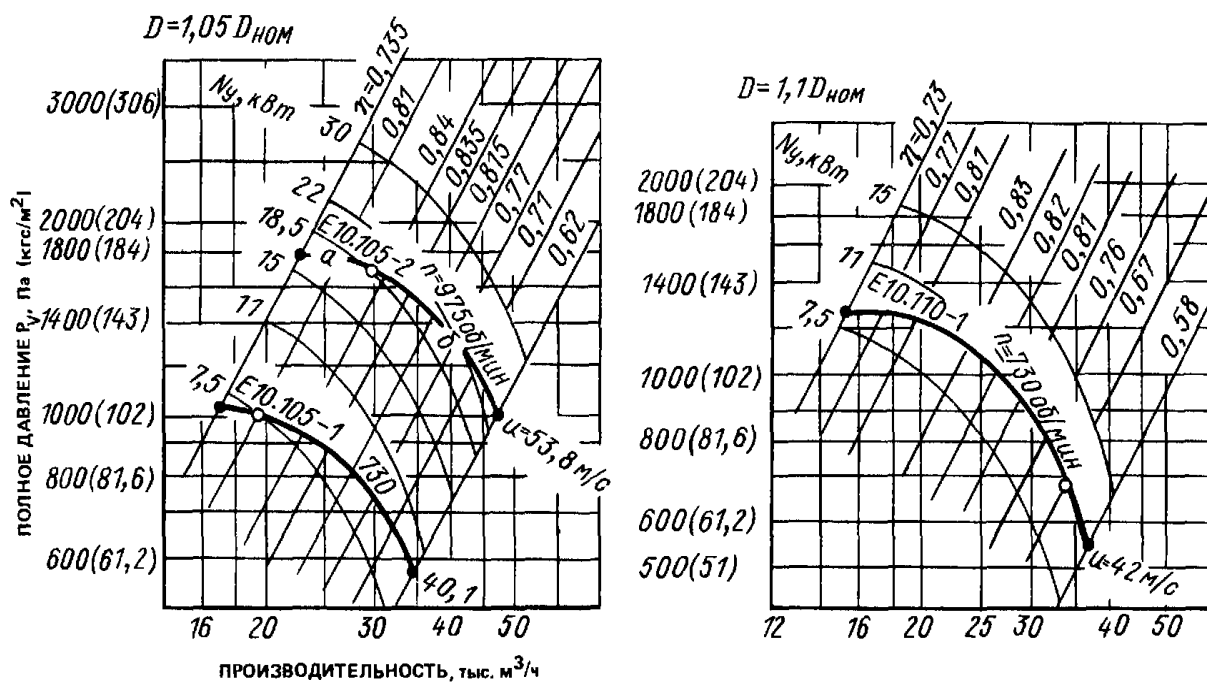


Рис. П.1.8. (окончание) Аэродинамические характеристики вентиляторов В.Ц4-75-10 (исполнение 1)

Производительность вентиляторов следует определять с учетом потерь или подсосов воздуха в воздухопроводах, вводя поправочные коэффициенты на расчетное количество воздуха: для стальных, пластмассовых и асбестоцементных (из труб) воздухопроводов длиной до 50 м - 1,1; для остальных - 1,15. Кроме того, количество подсасываемого воздуха в пылеуловителях (например, в рукавных фильтрах ФВ) следует принимать по заводским характеристикам.

Вентиляторы следует подбирать по сводному графику или индивидуальным характеристикам, разработанным с учетом оптимальных технико-экономических показателей.

Вентиляторы выбираются в следующем порядке: по заданным значениям производительности и давления на сводном графике находят точку пересечения координат $L - P_v$. Если эта точка располагается между «рабочими характеристиками», то ее сносят по вертикали на лежащую ниже «рабочую характеристику» и пересчитывают систему на новое давление, соответствующее полученной рабочей точке, или же повышают ее до расположенной выше «рабочей характеристики». Пользуясь индивидуальными характеристиками, по заданным L и P_v находят частоту вращения рабочего колеса вентилятора n , мин⁻¹, его КПД η , а также определяют потребляемую мощность.

Характеристики даны в пределах допустимых частот вращения рабочих колес вентиляторов из условий их прочности, поэтому применение вентиляторов с большей частотой вращения не допускается. Частоту вра-

шения рабочих колес вентиляторов ограничивают условиями бесшумности. При определении размера (номера) вентилятора следует стремиться к тому, чтобы заданным значениям L и P_v соответствовало максимальное значение КПД, но не ниже 0,9 максимального.

Требуемую мощность на валу электродвигателя N , кВт, определяют по следующим формулам:

- при перемещении чистого воздуха для стандартных условий

$$N = \frac{L \cdot \rho_{v.раб}}{3600 \cdot 1020 \cdot \eta_v \cdot \eta_n}; \quad (П.1)$$

- при перемещении воздуха с механическими примесями

$$N = \frac{1,2 \cdot L \cdot \rho_{v.раб}}{3600 \cdot 1020 \cdot \eta_v \cdot \eta_n}, \quad (П.2)$$

где η_v - КПД вентилятора в рабочей точке характеристики; η_n - КПД передачи, принимаемый по табл. П.1.2.

Установочную мощность электродвигателя N_y , кВт, находят по формуле

$$N_y = K_3 N. \quad (П.3)$$

где K_3 - коэффициент запаса мощности, принимаемый по табл. П.1.2.

Таблица П.1.2

Значения КПД передач

Передача	КПД
Непосредственная насадка колеса вентилятора на вал электродвигателя	1
Соединение вала вентилятора и электродвигателя с помощью муфты	0,98
Ременный привод с клиновыми ремнями	0,95

Таблица П.1.3

Коэффициенты запаса мощности

Мощность на валу электродвигателя, кВт	Коэффициент запаса при вентиляторе	
	радиальном	осевом
<0.5	1.5	1.2
0.51-1	1.3	1.15
1.01-2	1.2	1.1
2.01-5	1.15	1.05
>5	1.1	1.05

При установке электродвигателей в помещении с температурой 45 °С установочную мощность электродвигателя N_y необходимо увеличить на 8%, а при 50°С - на 15%.

Пример. Подобрать радиальный вентилятор для перемещения $L = 40\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ чистого воздуха с температурой $t = 80 \text{ °С}$. Сопротивление сети воздухопроводов $p_{\text{в.раб}} = 700 \text{ Па}$. Барометрическое давление $p_{\text{б}} = 0,096 \text{ МПа}$.

Решение. Характеристики вентиляторов составлены для стандартных условий, т.е. для чистого воздуха при $t = 20 \text{ °С}$, $\varphi = 50\%$, $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$, $p_{\text{б}} = 0,101 \text{ МПа}$. Поэтому для условий, отличающихся от стандартных, при выборе вентилятора следует принимать производительность вентилятора и условное давление равными соответственно

$$L = L_{\text{раб}};$$

$$P_y = P_{\text{в.раб}} \frac{273 + t}{293} \cdot \frac{0,101}{p_{\text{б}}} \cdot \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{г}}}, \quad (\text{П.4})$$

где $L_{\text{раб}}$ - расчетный объем воздуха при рабочих условиях, $\text{м}^3/\text{ч}$; L - расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$, принимаемый для подбора вентилятора; $P_{\text{в.раб}}$ - расчетное сопротивление сети, Па (для систем пневмотранспорта и аспирации с учетом потерь на примеси); y - условное давление, Па, принимаемое для подбора вентилятора; t - температура воздуха или газа, °С ; $p_{\text{б}}$ - барометрическое давление в месте установки вентилятора, МПа; $\rho_{\text{г}}$ - плотность газа ($t = 0 \text{ °С}$ и $p_{\text{б}} = 0,101 \text{ МПа}$); $\rho_{\text{в}}$ - плотность воздуха при тех же условиях.

Так как температура перемещаемого воздуха отличается от стандартной ($t = 20 \text{ °С}$) по формуле (П.4) определяем условное давление для подбора вентилятора

$$P_y = 700 \frac{273 + 80}{293} \cdot \frac{0,101}{0,096} = 900 \text{ Па}.$$

Этим условиям удовлетворяет радиальный вентилятор типа Ц4-70 № 12,5, который при $L = 40\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $P_y = 900 \text{ Па}$ имеет КПД, равный 0,78.

В точке пересечения линии давления и производительности по характеристике для данного номера вентилятора находим частоту вращения рабочего колеса вентилятора.

При установке вентилятора на клиноременной передаче требуемая мощность электродвигателя по формуле (П.1) составит:

$$N = \frac{40000 \cdot 700}{3600 \cdot 1020 \cdot 0,78 \cdot 0,95} = 10,3 \text{ кВт}.$$

Установочная мощность электродвигателя с учетом запаса по формуле (П.3) должна быть не менее $N_y = 1,1 \cdot 10,3 = 11,3 \text{ кВт}$.

Принимается ближайший больший по мощности электродвигатель.

Воздухонагреватели (калориферы)

Воздухонагреватели биметаллические со спирально-накатанным оребрением

Воздухонагреватели (калориферы) биметаллические со спирально-накатанным оребрением типов КСк3, КСк4, КПЗ-СК и КП4-СК предназначены для нагрева воздуха в системах воздушного отопления, вентиляции, кондиционирования и сушильных установках. Воздух, поступающий в воздухонагреватели, по предельно допустимой концентрации вредных веществ должен соответствовать ГОСТ 12.1.005-88, не должен содержать липких веществ и волокнистых материалов, запыленность не должна превышать $0,5 \text{ мг/м}^3$.

Конструктивное устройство воздухонагревателей КСк3-6-КСк3-10 приведено на рис. П.2.1.

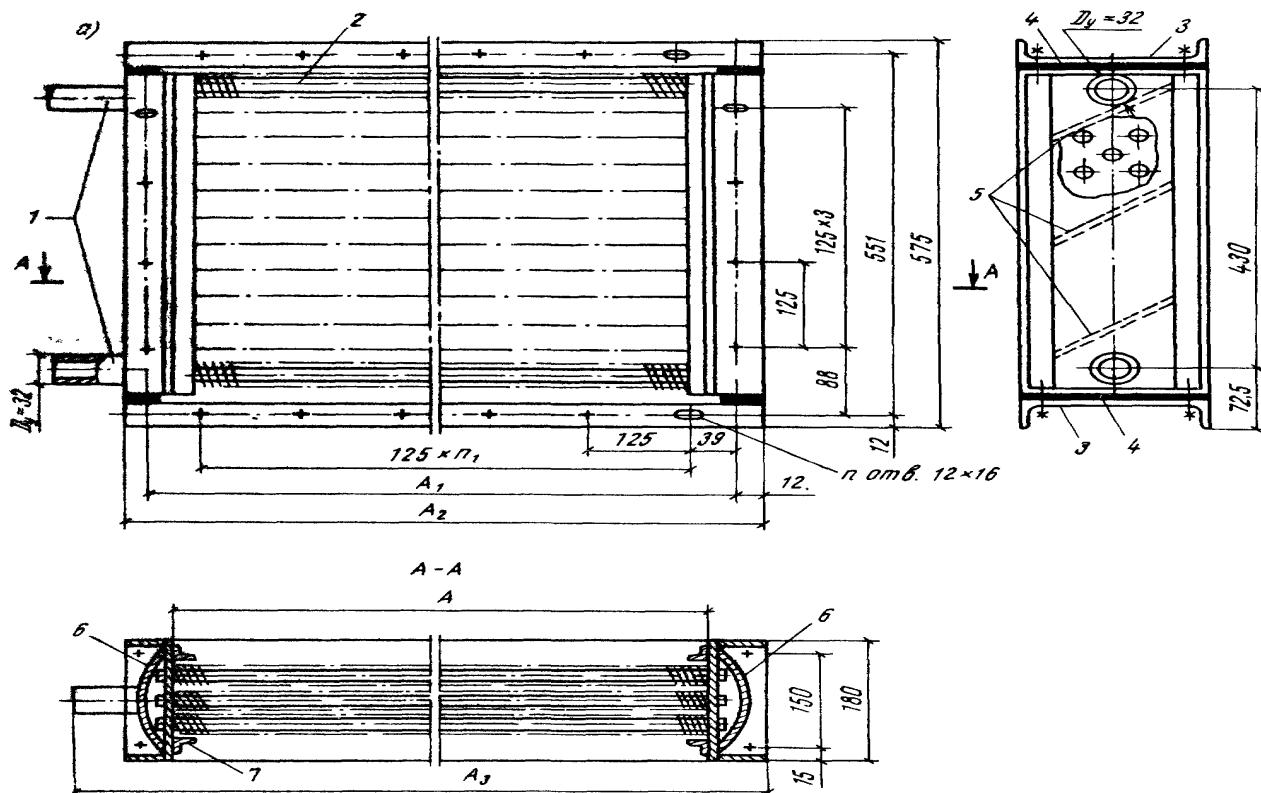


Рис. П.2.1. Калориферы КСк3-6-02ХЛЗА – КСк3-10-02ХЛЗА:

1 – патрубки для подвода и отвода теплоносителя; 2 – теплопередающая трубка теплообменного элемента; 3 - боковые щитки; 4 – уплотнительные прокладки; 5 – перегородки в распределительно-сборных коллекторах; 6 – крышка; 7 – трубная решетка

В качестве теплоносителя в воздухонагревателях КСк3 и КСк4 может использоваться горячая вода (или перегретая) с температурой до 180°C и рабочим избыточным давлением до 1,2 МПа, удовлетворяющая

требованиям СНиП 2-04.07-88. Теплоносителем в воздухонагревателях КПЗ-СК и КП4-СК является пар с рабочим избыточным давлением до 1,2 МПа и температурой 190°С. Воздухонагреватели соответствуют ГОСТ 27330-87*, КСк3 и КСк4 выпускаются по ТУ 22-5757-84. КПЗ и КП4 - по ТУ 22-5756-84.

Воздухонагреватели изготавливают двух моделей: КСк3 и КПЗ - средняя модель, КСк4 и КП4- большая модель.

В зависимости от присоединительных размеров воздухонагреватели каждой модели подразделяются на семь типоразмеров - с №6 по № 12.

Воздухонагреватели состоят из биметаллических теплообменных элементов, трубных решеток, крышек с перегородками и боковых щитков. Теплообменный элемент выполнен из определенного количества теплопередающих трубок в зависимости от модели и типоразмера воздухонагревателя. Воздухонагреватели КСк3 и КПЗ имеют три ряда трубок по направлению воздуха, а КСк4 и КП4 - четыре.

Теплопередающая трубка изготавливается из двух трубок, насаженных одна на другую: внутренняя трубка стальная наружным диаметром 16 мм с толщиной стенки 1.2 мм, наружная трубка -алюминиевая с накатным на ней оребрением. Теплопередающие трубки своими конусами вварены в трубчатые решетки с поперечным шагом между трубками 41,5 мм, продольным шагом 36 мм.

У воздухонагревателей КСк3 и КСк4 к трубчатым решеткам привариваются крышки, образуя распределительно-сборные коллекторы. Одна из крышек глухая, другая имеет два патрубка для подвода и отвода теплоносителя, многоходовое движение которого организуется с помощью перегородок, устанавливаемых в распределительно-сборных коллекторах. Воздухонагреватели КСк3 и КСк4 следует устанавливать с горизонтальным расположением теплопередающих трубок. У воздухонагревателей КПЗ и КП4 в крышках, приваренных к трубным решеткам, имеются патрубки для подвода пара и отвода конденсата. Воздухонагреватели с № 6 по № 10 снабжены одним патрубком для подвода пара и одним патрубком для отвода конденсата, а воздухонагреватели № 11 и № 12 - двумя патрубками для подвода пара и одним патрубком для отвода конденсата. Воздухонагреватели КПЗ и КП4 одноходовые и устанавливаются с вертикальным расположением теплопередающих трубок и патрубков. При этом патрубки для отвода пара должны быть сверху, а патрубок для отвода конденсата - снизу.

В воздухонагревателях КСк3, КСк4, КПЗ, КП4 боковые щитки крепятся к торцам трубных решеток болтовыми соединениями. Между щитками и трубными решетками устанавливаются уплотнительные прокладки. Продольные края боковых щитков и трубных решеток отогнуты так, что образуются фланцы с отверстиями для присоединения калориферов к

элементам отопительно-вентиляционных систем. Присоединительные отверстия располагаются с единым шагом 125 мм.

Пример условного обозначения КСк3-5-02АХЛЗ, ТУ 22-5757-84; КП46-СК-01АУЗ, ТУ 22-5756-84:

- КСк3 и КП4 - шифр модели;
- 5 и 6 -номер типоразмера;
- СК - теплообменный элемент;
- 01А и 02А модификация конструкции;
- ХЛ и У - климатическое исполнение;
- 3-категория размещения согласно ГОСТ 15150-69*.

Номенклатура и технические характеристики воздухонагревателей КСк3 приведены в табл. П.2.1.

Номенклатура и технические характеристики воздухонагревателей КСк4 приведены в табл. П.2.2.

Номенклатура и технические характеристики воздухонагревателей КСкЗ

Обозначение	Площадь поверхности воздухообмена со стороны воздуха F , м ²	Площадь сечения, м ²				Число ходов для движения теплоносителя n_x	Длина теплопередающей трубки L , м	Масса, кг, не более
		фронтального f_s	для прохода теплоносителя f_w	патрубка f_n	распределительных сборных коллекторов f_x			
КСкЗ-6-02АХЛЗ	13,26	0,267	0,000846	0,001006	0,00172	6	0,53	38
КСкЗ-7-02АХЛЗ	16,34	0,329	0,000846	0,001006	0,00172	6	0,655	44
КСкЗ-8-02АХЛЗ	19,42	0,392	0,000846	0,001006	0,00172	6	0,78	50
КСкЗ-9-02АХЛЗ	22,5	0,455	0,000846	0,001006	0,00172	6	0,905	56
КСкЗ-10-02АХЛЗ	28,66	0,581	0,000846	0,001006	0,00172	6	1,155	68
КСкЗ-11-02АХЛЗ	83,12	1,66	0,002576	0,002205	0,00172	4	1,655	176
КСкЗ-12-02АХЛЗ	125,27	2,488	0,003881	0,002205	0,00172	4	1,655	259

Номенклатура и технические характеристики воздухонагревателей КСк4.

Обозначение	Площадь поверхности воздухообмена со стороны воздуха $F, \text{ м}^2$	Площадь сечения, м^2				Число ходов для движения теплоносителя n_x	Длина теплопередающей трубки $L, \text{ м}$	Масса, кг, не более
		фронтального f_e	для прохода теплоносителя f_w	патрубка f_n	распределительных сборных коллекторов f_x			
КСк4-6-02АХЛЗ	17,42	0,267	0,001112	0,001006	0,0022	6	0,53	45
КСк4-7-02АХЛЗ	21,47	0,329	0,001112	0,001006	0,0022	6	0,655	53
КСк4-8-02АХЛЗ	25,52	0,392	0,001112	0,001006	0,0022	6	0,78	61
КСк4-9-02АХЛЗ	29,57	0,455	0,001112	0,001006	0,0022	6	0,905	68
КСк4-10-2АХЛЗ	37,66	0,581	0,001112	0,001006	0,0022	6	1,155	85
КСк4-11-2АХЛЗ	110,05	1,66	0,00341	0,002205	0,0022	4	1,655	223
КСк4-12-2АХЛЗ	166,25	2,488	0,005151	0,002205	0,0022	4	1,655	331

Выбор воздухонагревателей КСк3 И КСк4 проводится по табл. П.2.3.

Таблица П.2.3

Данные для подбора воздухонагревателей КСк3 И КСк4

Массовая скорость движения воздуха во фронтальном сечении (v_p) _н , кг/(м ² с)	Коэффициент теплопередачи К, Вт/(м ² °С), при скорости движения теплоносителя по трубкам w, м/с										Аэродинамическое сопротивление ΔP_a , Па
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	
Воздухонагреватели КСк3											
1,5	26,69	28,58	29,98	31,14	32,11	32,96	33,69	34,35	34,98	36,07	12,37
2	30,27	32,41	34	35,31	36,42	37,37	38,2	38,96	39,67	40,9	21,56
2,5	33,36	35,72	37,46	38,91	40,13	41,18	42,1	42,93	43,72	45,07	32,43
3	36,13	38,68	40,58	42,14	43,47	44,6	45,6	46,5	47,35	48,82	45,3
3,5	38,65	41,39	43,42	45,09	46,51	47,42	48,79	49,75	50,66	52,23	60,08
4	40,98	43,88	46,03	47,8	49,3	50,59	51,72	52,74	53,71	55,37	76,73
4,5	43,12	46,18	48,44	50,3	51,89	53,24	54,43	55,5	56,52	58,27	95,2
5	45,16	48,35	50,72	52,68	54,33	55,75	57	58,12	59,19	61,02	115,47
5,5	47,08	50,14	52,88	54,92	56,65	58,13	59,42	60,6	61,71	63,62	137,5
6	48,91	52,38	54,94	57,06	58,85	60,39	61,74	62,95	64,11	66,1	161,26
6,5	50,66	54,24	56,9	59,09	60,95	62,54	63,93	65,2	66,39	68,45	186,73
7	52,32	56,03	58,77	61,03	62,95	64,6	66,04	67,34	68,58	70,7	213,89

Воздухонагреватели КСк4											
1,5	24,11	25,73	26,94	27,91	28,72	29,44	30,09	30,66	31,19	32,12	17,68
2	27,79	29,66	31,06	31,18	33,11	33,94	34,7	35,34	35,96	37,03	28,88
2,5	31,05	33,13	34,7	35,94	36,99	37,91	38,76	39,48	40,16	41,37	42,24
3	33,98	36,27	37,98	39,35	40,49	41,5	42,42	43,21	43,96	45,28	57,65
3,5	36,68	39,15	41	42,47	43,71	44,8	45,79	46,65	47,46	48,88	74,97
4	39,21	41,84	43,82	45,39	46,71	47,88	48,94	49,86	50,72	52,24	94,15
4,5	41,57	44,37	46,65	48,13	49,53	50,77	51,9	52,87	53,78	55,39	115,08
5	43,8	46,74	48,96	50,71	52,18	53,49	54,68	55,7	56,66	58,36	137,73
5,5	45,91	49	51,31	53,15	54,7	56,06	57,31	58,88	59,39	61,17	162,03
6	47,94	51,16	53,58	55,5	57,12	58,54	59,84	60,96	62,02	63,88	187,94
6,5	49,87	53,22	55,74	57,74	59,42	60,9	62,26	63,42	64,52	66,45	215,42
7	51,74	55,22	57,88	59,91	61,65	63,19	64,59	65,8	66,94	68,95	244,45

Номенклатура и технические характеристики воздухонагревателей КПЗ-СК приведены в табл. П.2.4

Конструктивное устройство воздухонагревателя КПЗ-СК приведено на рис. П.2.2.

Коэффициенты теплопередачи и аэродинамическое сопротивление воздухонагревателей КПЗ-СК и КП4-СК приведены в табл. П.2.5

Таблица П.2.4

Номенклатура и технические характеристики воздухонагревателей КПЗ-СК

Обозначение	Площадь поверхности теплообмена со стороны воздуха, f , м ²	Площадь сечения, м ²		Длина теплопередающей трубки l , м	Масса, кг, не более
		фронтально-го f_{ϕ}	для прохода теплоносителя f_w		
КПЗ6-СК-01АУЗ	13,26	0,267	0,005082	0,53	38
КПЗ7-СК-01АУЗ	16,34	0,329	0,005082	0,655	44
КПЗ8-СК-01АУЗ	19,42	0,392	0,005082	0,78	50
КПЗ9-СК-01АУЗ	22,5	0,455	0,005082	0,905	56
КПЗ10-СК-01АУЗ	28,66	0,581	0,005082	1,155	68
КПЗ11-СК-01АУЗ	83,12	1,66	0,0103	1,655	176
КПЗ12-СК-01АУЗ	125,27	2,488	0,0155	1,655	259

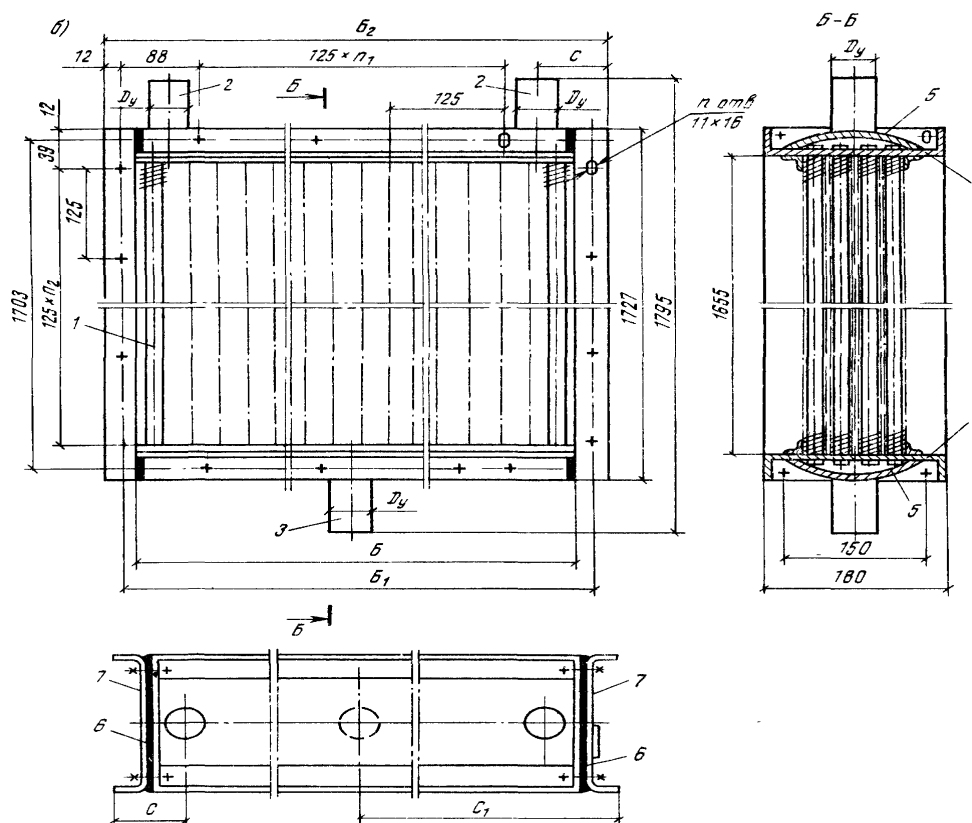


Рис. П.2.2. Воздуонагреватели (калориферы)
КПЗ6-СК-01УЗА - КПЗ10-СК-01УЗА:

1 - теплопередающая трубка теплообменного элемента; 2 - патрубок для подвода пара; 3 - патрубок для отвода конденсата; 4 - трубная решетка; 5 - крышка; б - уплотнительные прокладки; 7 - боковые щитки

Таблица П.2.5

Коэффициенты теплопередачи и аэродинамическое сопротивление воздухонагревателей КПЗ-СК и КП4-СК

Обозначение	Коэффициент теплопередачи K , Вт/(м ² °С), при массовой скорости движения воздуха во фронтальном сечении $(\nu\rho)_н$, кг/(м ² с)											
	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
КП36-СК-01АУЗ	37,24	41,86	45,81	49,32	52,52	55,42	58,14	60,67	63,08	65,31	67,47	69,43
КП37-СК-01АУЗ	36,73	41,28	45,18	48,64	51,79	54,66	57,84	59,83	62,60	64,42	66,54	68,56
КП38-СК-01АУЗ	36,31	40,81	44,66	48,08	51,19	54,03	56,68	59,15	61,49	63,68	65,77	67,78
КП39-СК-01АУЗ	35,95	40,41	44,22	47,61	50,69	53,5	56,13	58,57	60,89	63,05	65,13	67,11
КП310-СК-01АУЗ	35,38	39,76	43,52	46,85	49,88	52,65	55,23	57,63	59,92	62,05	64,09	66,04
КП311-СК-01АУЗ	34,55	38,83	42,5	45,75	48,71	51,41	53,93	56,28	58,51	60,59	62,59	64,49
КП312-СК-01АУЗ	34,55	38,83	42,5	45,75	48,71	51,41	53,93	56,28	58,51	60,59	62,59	64,49
ΔP_a , Па	12,73	21,56	32,43	45,3	60,08	76,73	95,2	115,47	137,5	161,26	186,73	213,89

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
КП46-СК-01АУЗ	32,39	37,14	41,31	45,05	48,47	51,67	54,63	57,44	60,11	62,65	65,1	67,43
КП47-СК-01АУЗ	32,14	36,86	41	44,71	48,1	51,28	54,22	57	59,65	62,17	64,61	66,91
КП48-СК-01АУЗ	31,94	36,63	40,74	44,43	47,8	50,96	53,88	56,65	59,28	61,78	64,2	66,5
КП49-СК-01АУЗ	31,77	36,44	40,52	44,19	47,54	50,69	53,59	56,31	58,96	61,45	63,86	66,14
КП410-СК-01АУЗ	31,5	36,12	40,17	43,8	47,13	50,24	53,12	55,85	58,45	60,91	63,3	65,56
КП411-СК-01АУЗ	31,09	35,65	39,65	43,24	46,52	49,6	52,44	55,13	57,7	60,13	62,49	64,72
КП412-СК-01АУЗ	31,09	35,65	39,65	43,24	46,52	49,6	52,44	55,13	57,7	60,13	62,49	64,72
ΔP_a , Па	17,68	22,88	42,24	57,65	74,97	94,15	115,08	137,73	162,03	187,94	215,42	244,45

Калориферы стальные пластинчатые

Калориферы стальные пластинчатые КВСБ-П и КВББ-П предназначены для нагревания воздуха с предельно допустимым содержанием химически агрессивных веществ по ГОСТ 12.1.005-88, с пыленностью не более 0,5 мг/м³ не содержащего липких веществ и волокнистых материалов, в системах кондиционирования, вентиляции, воздушного отопления и в сушильных установках.

Теплоноситель горячая вода с рабочим избыточным давлением до 1,2 МПа и температурой до 180°С.

Калориферы изготавливают в климатических исполнениях согласно ГОСТ 15150-69:

а) для эксплуатации в районах с умеренным климатом (У) и категории размещения 3;

б) для эксплуатации в районах с тропическим климатом (Т) и категории размещения 3.

Изготавливают калориферы двух моделей: КВСБ-П - средняя модель и КВББ-П - большая модель, имеющие по направлению движения воздуха соответственно три и четыре ряда теплопередающих трубок.

В зависимости от присоединительных размеров калориферы каждой модели подразделяются на семь типоразмеров с № 6 по 12.

Присоединительные размеры калориферов соответствуют ТУ 22-5893-84.

Пример условного обозначения КВС7Б-П-У3, ТУ 22-4459-84; КВБ9Б-П-13; ТУ 22-4459-84:

- К - калорифер;
- В- теплоноситель вода;
- С, Б - модель (средняя, большая);
- 7, 9 номер типоразмера;
- Б - модификация конструкции;
- П - пластинчатый;
- У, Т - климатическое исполнение (У - умеренный климат, Т - тропический климат);
- 3-категория размещения (согласно ГОСТ 15150-69*).

Номенклатура и технические характеристики калориферов КВБ приведены в табл. П.2.6.

Подбор калориферов КВБ проводится по табл. П.2.7.

Технические характеристики калориферов КВББ приведены в табл. П.2.8.

Подбор калориферов КВББ проводится по табл. П.2.9.

Таблица П.2.6

Номенклатура и технические характеристики калориферов КВБ

Обозначение	Площадь поверхности воздухообмена со стороны воздуха F , м ²	Площадь сечения, м ²				Число ходов для движения теплоносителя n_x	Длина теплопередающей трубки l , м	Масса, кг, не более
		фронтального f_g	для прохода теплоносителя f_w	патрубка f_n	распределительных коллекторов f_x			
КВБ5-П-01УЗ	20,77	0,4396	0,0012	0,00119	0,00281	4	1,163	92
КВБ8-П-01УЗ	18,74	0,3964	0,0016	0,00119	0,00281	4	0,788	85
КВБ10-П-01УЗ	27,7	0,585	0,0016	0,00119	0,00281	4	1,163	120
КВБ11-П-01УЗ	78,8	1,668	2x0,0016	0,00119	0,00281	4x2	1,163	325

Таблица П.2.7

Данные для подбора калориферов КВБ

Массовая скорость движения воздуха во фронтальном сечении $(v\rho)_H$, кг/(м ² с)	Коэффициент теплопередачи K , Вт/(м ² °С), при скорости движения теплоносителя по трубкам w , м/с										Аэродинамическое сопротивление ΔP_a , Па
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	
1,5	25,76	27,14	28,17	28,99	29,68	30,28	30,8	31,27	31,7	32,46	15,03
2	28,94	30,49	31,65	32,57	33,28	34,02	34,61	35,14	36,62	36,47	24,02
2	28,94	30,49	31,65	32,57	33,28	34,02	34,61	35,14	36,62	36,47	24,02
2,5	31,68	33,38	34,64	35,65	36,5	37,23	37,88	38,46	38,99	39,91	34,65
3	34,11	35,93	37,29	38,38	39,3	40,09	40,78	41,41	41,98	42,97	46,51
3,5	36,3	38,25	39,7	40,85	41,83	42,67	43,41	44,08	44,68	45,74	59,8
4	38,32	40,38	41,9	43,12	44,15	45,04	45,83	46,52	47,16	48,28	74,34
4,5	40,19	42,35	43,95	45,23	46,31	47,24	48,06	48,8	49,47	50,64	90,07
5	41,94	44,19	45,86	47,2	48,33	49,3	50,15	50,92	51,62	52,85	106,95
5,5	43,6	45,93	47,67	49,06	50,24	51,24	52,13	52,93	53,66	54,93	124,93
6	45,16	47,58	49,38	50,82	52,03	53,08	54	54,83	55,58	56,9	143,96
6,5	46,65	49,15	51,01	52,43	53,75	54,83	55,78	56,64	57,41	58,78	164,03
7	48,07	50,65	52,56	54,09	55,38	56,5	57,48	58,36	59,16	60,57	185,09

Технические характеристики калориферов КВББ

Обозначение	Площадь поверхности воздухообмена со стороны воздуха $F, \text{ м}^2$	Площадь сечения, м^2				Число ходов для движения теплоносителя n_x	Длина теплопередающей трубки $l, \text{ м}$	Масса, кг,
		фронтального f_v	для прохода теплоносителя f_w	патрубка f_n	распределительно-сборных коллекторов f_x			
КВБ6Б-П-УЗ	17,22	0,267	0,00116	0,00101	0,00245	6	0,53	71
КВБ7Б-П-УЗ	21,22	0,329	0,00116	0,00101	0,00245	6	0,655	84
КВБ8Б-П-УЗ	25,29	0,392	0,00116	0,00101	0,00245	6	0,78	97
КВБ9Б-П-УЗ	29,34	0,455	0,00116	0,00101	0,00245	6	0,905	111
КВБ10Б-П-УЗ	37,48	0,581	0,00116	0,00101	0,00245	6	1,155	137
КВБ11Б-П-УЗ	107,08	1,66	0,00348	0,00221	0,00409	4	1,655	359
КВБ12Б-П-УЗ	160,49	2,488	0,00592	0,00358	0,00409	4	1,655	529

Таблица П.2.9

Данные для подбор калориферов КВББ

Массовая скорость движения воздуха во фронтальном сечении ($v\rho$) _н , кг/(м ² с)	Коэффициент теплопередачи К, Вт/(м ² °С), при скорости движения теплоносителя по трубкам w , м/с										Аэродинамическое сопротивление ΔP_a , Па
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	
1,5	20,43	21,53	22,35	23,01	23,57	24,04	24,26	24,84	25,18	25,79	15,35
2	22,59	23,81	24,72	25,45	26,06	26,59	27,05	27,47	27,85	28,52	23,8
2,5	24,43	25,75	26,73	27,52	28,18	28,75	29,75	29,7	30,11	30,83	33,45
3	26,04	27,44	28,49	29,33	30,03	30,64	31,18	31,66	32,1	32,87	44,17
3,5	27,48	28,97	30,07	30,95	31,7	32,34	32,91	33,41	33,87	34,69	55,87
4	28,79	30,35	31,51	32,44	33,22	33,89	34,48	35,01	35,5	36,35	68,49
4,5	30,01	31,63	32,84	33,72	34,62	35,31	35,93	36,49	36,99	37,88	81,97
5	31,13	32,82	34,07	35,07	35,92	36,64	37,28	37,86	38,37	39,3	96,26
5,5	32,19	33,93	35,23	36,26	37,13	37,88	38,55	39,14	39,18	40,63	111,32
6	33,18	34,98	36,31	37,38	38,28	39,05	39,74	40,35	40,91	41,89	127,11
6,5	34,13	35,97	37,34	38,44	39,37	40,16	40,86	41,49	42,07	43,08	143,61
7	35,02	36,92	38,33	39,45	40,4	41,22	41,94	42,59	43,18	44,21	160,8

Смирнова Валентина Михайловна

Трунова Ирина Геннадьевна

Ананьева Елена Юрьевна

Ивашкин Евгений Геннадьевич

**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.
ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.
ОРГАНИЗАЦИЯ И РАСЧЕТ СИСТЕМ
ВЕНТИЛЯЦИИ**

Редактор Н.Н. Максимова

Технический редактор Т.П. Новикова

Компьютерный набор и верстка Е.Ю. Ананьева

Подписано в печать 20.11.2025 Формат 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 9,75.
Тираж 100 экз. Заказ .

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:
603155, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.