

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ФГБОУ ВО БРЯНСКИЙ ГАУ

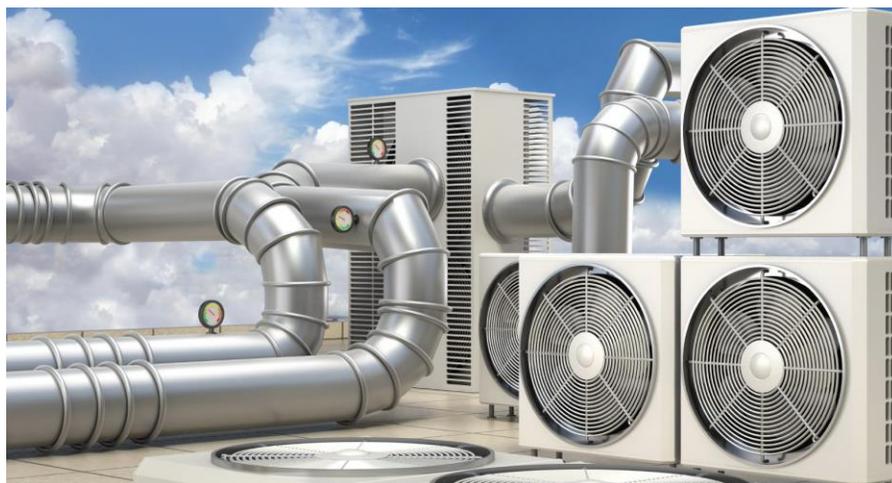
Инженерно-технологический институт

Кафедра безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии

Панова Т.В., Панов М.В., Симбирцева М.Е.

***СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ
ВОЗДУХА ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ***

Учебное пособие
для бакалавров, всех направлений подготовки



Брянская область
2023

УДК 697.9 (076)

ББК 38.762.2

П 16

Панова, Т. В. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха общественных зданий: учебное пособие для бакалавров, всех направлений подготовки / Т. В. Панова, М. В. Панов. М. Е. Симбирцева. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2023. – 127 с.

Учебное пособие может быть использовано при изучении дисциплин бакалаврами всех направлений подготовки. Раскрываются теоретические аспекты производственной вентиляции и кондиционирования воздуха общественных зданий, в частности, классификацию, исходные данные и положения для проектирования, назначение систем вентиляции и кондиционирования воздуха и их основные типы, организацию воздухообмена в помещениях, этапы работ от начала проектирования до ввода в эксплуатацию. Предназначено для подготовки к лекционным, практическим занятиям, подготовки к текущему и промежуточному контролю, самостоятельной работы студентов при изучении дисциплин.

Учебное пособие составлено в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования.

Рецензенты: Руководитель службы охраны труда ФГБОУ ВО Брянский ГАУ Л.В. Агеенко; д.т.н., профессор, профессор кафедры БЖД и ИЭ Е.Н. Христофоров.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского ГАУ, протокол № 5 от «24» марта 2023 г.

© Брянский ГАУ, 2023

© Т.В. Панова, 2023

© М.В. Панов, 2023

© М.Е. Симбирцева 2023

Оглавление

Термины и определения.....	5
1 Исходные данные и положения для проектирования.....	12
2 Назначение систем вентиляции и кондиционирования воздуха и их основные типы	14
2.1 Давление воздуха в помещении.....	16
2.2 Удельная мощность вентилятора.....	17
2.3 Параметры воздушной среды помещений.....	17
2.4 Качество воздуха в помещении	18
2.5 Температура воздуха.....	20
2.6 Скорость движения воздуха и интенсивность сквозняка	21
2.7 Влажность воздуха в помещении	23
2.8 Шум.....	23
2.9 Тепловой комфорт.....	26
3 Организация воздухообмена в помещениях.....	26
3.1 Типы потоков воздуха.....	26
3.2 Классификация потоков воздуха	28
3.2.1 Общие положения	28
3.2.2 Наружный воздух	28
3.2.3 Приточный воздух.....	32
3.2.4 Воздух в помещениях	39
3.2.5 Вытяжной и удаляемый воздух	43
3.2.6 Расход вытяжного воздуха	45
4 Этапы работ от начала проектирования до ввода в эксплуатацию.....	46
5 Воздуховоды	51
6 Воздухораспределительные устройства	56
6.1 Классификация воздухораспределительных устройств.....	56

6.2 Технические требования.....	63
7 Расчет и проектирование	67
7.1 Удаление вредных веществ	69
7.2 Обеспечение микроклимата	69
7.3 Обеспечение заданной чистоты воздуха.....	71
7.4 Выбор фильтров очистки воздуха	72
7.5 Принципиальная схема вентиляции и кондиционирования	73
7.6 Расчет расходов воздуха в чистых помещениях	75
7.7 Проектирование систем вентиляции и кондиционирования	77
8 Примеры расчёта	80
8.1 Расчет вентиляции по коэффициенту кратности воздухообмена	80
8.2 Расчет вентиляции для снижения запыленности и загазованности помещения ..	81
8.3 Расчет производительности вентиляции для удаления избытков тепла	90
8.4 Расчет производительности вентиляции для удаления избытков влаги	91
8.5 Расчет естественной вентиляции	94
8.6 Расчёт местной вентиляции.....	99
8.7 Расчёт механической общеобменной вентиляции.....	108
Список литературы.....	120
Приложение	122

Термины и определения

В настоящем учебном пособии применены термины по ГОСТ Р 59972-2021, ГОСТ 22270-2018 и СП 60.13330-2020, а также следующие термины с соответствующими определениями:

Воздухораспределительное устройство: Концевой элемент системы вентиляции или кондиционирования, служащий для выпуска или отвода в обслуживаемое помещение требуемого количества воздуха.

Примечание - В тексте для воздухораспределительного устройства используется сокращение «ВР».

Воздуховытяжное устройство: Устройство для отвода из помещения заданного количества воздуха.

Примечание - ВР может применяться в системах вентиляции и кондиционирования воздуха в качестве вытяжного.

Функциональные характеристики ВР

Типоразмер, АхВ: Размер, определяющий основные конструктивные параметры прямоугольного ВР данного типа.

Типоразмер, ØА: Размер, определяющий основные конструктивные параметры круглого ВР данного типа.

Расчетная площадь, F_c : Площадь сечения, к которой относятся основные характеристики ВР.

*Площадь «живого» сечения, $F_{жс}$: Y^{**} :* Сумма наименьших площадей поперечного сечения всех наружных отверстий ВР через которые проходит воздух.

Коэффициент «живого» сечения, $K_{жс}$: Отношение площади «живого» сечения к расчетной площади ВР.

Положение регулирующего элемента о при его повороте; Угол между осью поворотного элемента и геометрической осью ВР (в направлении подачи воздуха)
К положение регулирующего элемента Ь при его продольном перемещении:

Расстояние между текущим положением подвижного элемента и его «нулевым» положением.

Приточная струя: Поток, образованный принудительным истечением воздуха из ВР.

Ось струи: Геометрическое место точек вдоль струи с максимальной скоростью.

Длина струи: Расстояние вдоль оси струи от истечения до рассматриваемого поперечного сечения.

Средняя температура воздуха в рабочей зоне, Среднее арифметическое измеренных значений температуры в рабочей зоне.

Разность температур приточного воздуха, Δt_x : Алгебраическая разность между температурой подаваемого воздуха и средней температурой в рабочей зоне.

Локальная температура воздуха. t_x : Усредненная во времени температура воздуха на оси струи на расстоянии X .

Разность температур воздуха в струе, Δt_x : Алгебраическая разность между температурой воздуха на оси струи на расстоянии X от ВР и средней температурой в рабочей зоне.

Расход приточного или удаляемого воздуха через ВР, Объем воздуха, поступающего через приточное ВР или удаляемого через вытяжное ВР за единицу времени.

Локальная скорость воздуха, V_x : Модуль усредненного во времени вектора скорости на оси воздушной струи (потока) на расстоянии X от ВР. скорость воздуха в расчетном сечении, Отношение расхода приточного воздуха к площади расчетного сечения приточного ВР или отношение расхода удаляемого воздуха к площади расчетного сечения вытяжного ВР.

Скорость воздуха в «живом» сечении, $V_{жс}$: Отношение расхода приточного воздуха к площади «живого» сечения приточного ВР или отношение расхода удаляемого воздуха к площади «живого» сечения вытяжного ВР.

Дальнобойность приточной струи, l Максимальное расстояние между плоскостью выхода воздуха из ВР и плоскостью, касательной к соответствующей поверхности равных скоростей.

Примечание - Дальнобойность $l_{0,2}$ соответствует скорости 0,2 м/с. $l_{0,5}$ - скорости 0,5 м/с и т.д.

Скоростной коэффициент, m: Коэффициент, характеризующий изменение локальной скорости приточного воздуха по длине струи.

Температурный коэффициент, n: Коэффициент, определяющий изменение разности температур приточного воздуха на оси струи по ее длине.

Коэффициент потерь давления, ζ Коэффициент, характеризующий потери полного давления при проходе воздуха через ВР.

Уровень звуковой мощности в октавных полосах частот, L_{wA} : Десятикратный десятичный логарифм отношения звуковой мощности, генерируемой ВР, к опорной звуковой мощности при указанной частотной характеристике или полосе частот (опорная звуковая мощность $W_0 = 10^{12}$ Вт).

Уровень звуковой мощности, $L_{wд}$: Уровень звуковой мощности, генерируемой ВР, приведенный по фильтру А.

Потери звуковой мощности при прохождении воздуха через ВР, ΔL : Разность между уровнями звуковой мощности, поступающей на вход ВР и прошедшей через него.

Примечание - Потери при прохождении включают потери звуковой мощности непосредственно на ВР и на открытом конце воздуховода.

Показатель направленности звукоизлучения, D_i Величина, характеризующая степень доминирования излучения звука в одном направлении.

Воздуховод: Технологический канал, предназначенный для перемещения воздуха, газов.

Воздуховод [канал] в строительном исполнении: Технологический канал, предназначенный для перемещения воздуха, газов, выполненный из строительных материалов (кирпич, бетон и т.п.).

Заглушка: Деталь круглой или прямоугольной формы (в зависимости от сечения воздуховода), устанавливаемая в конце торцевого участка сети.

ЗИГ: Кольцеобразная выпуклость, прокатываемая зигмашиной на круглых воздуховодах для придания жесткости и/или соединения с другими элементами.

Каркасно-панельный воздуховод: Воздуховод прямоугольного сечения с размером сторон 2000, 2400, 3200 и 4000 мм из отдельных унифицированных стальных панелей рамной конструкции.

Ниппельное [муфтовое] соединение: Соединение участков воздуховодов путем установки короткого патрубка меньшего (ниппель) или большего (муфта) диаметра, плотно вставленного (одетого) в соединяемые участки сети.

Однонаправленный поток воздуха: Контролируемый поток воздуха с постоянной скоростью и примерно параллельными линиями тока по всему поперечному сечению чистой зоны.

Оснащенное: Состояние, в котором чистое помещение укомплектовано оборудованием и действует по соглашению между заказчиком и исполнителем, но персонал отсутствует.

Построенное: Состояние, в котором монтаж чистого помещения завершен, все обслуживающие системы подключены, но отсутствует производственное оборудование, материалы и персонал.

Прямошовный воздуховод: Воздуховод, изготовленный из листовой стали с фальцевым или сварным соединением(ями) металла вдоль оси воздуховода.

Рекуперация тепла: Повторное использование тепла воздуха, удаляемого из помещений (здания).

Рециркуляция воздуха: Повторная подача части вытяжного воздуха в помещение.

Сварной воздуховод: Воздуховод, изготовленный из листовой стали с соединением листа(ов) металла на сварке.

Спирально-навивной воздуховод: Воздуховод, изготавливаемый методом спиральной навивки стальной ленты, кромки которой соединены по всей длине ленты в замок по спирали относительно оси воздуховода.

Стэк-эффект (эффект тяги): Явление, возникающее в зданиях в холодный период года из-за разности температур внутри и снаружи, при котором связанные

объемы в здании (лифтовые шахты, лестничные клетки и т.п.) начинают работать по принципу дымовой трубы, т.е. в них возникает неконтролируемая тяга.

Сэндвич-воздуховод: Воздуховод, изготовленный из двух воздуховодов разного размера с утеплителем между ними или из сэндвич-панелей.

Сэндвич-панель: Изделие, состоящее из жестких (металл) или мягких (алюминиевая фольга или аналоги) облицовок и жесткого негорючего или слабогорючего теплоизоляционного сердечника, соединенных между собой адгезией.

Удельная мощность вентилятора P_v , Вт·с/м³: Количество электроэнергии, потребляемой вентилятором, относительно перемещаемого объема.

Примечание - Удельную мощность вентилятора P_v , Вт·с/м³, вычисляют по формуле

$$P_v = \frac{P}{g_v} = \frac{\Delta P}{\eta_{об}} \quad (2)$$

где P - потребляемая мощность электродвигателя вентилятора, Вт;

g_v - номинальный расход воздуха через вентилятор, м³/с;

ΔP - перепад давления воздуха на вентиляторе, Па;

$\eta_{об}$ - общий КПД вентилятора, электродвигателя и тракта прохождения воздуха.

Удельную мощность вентилятора определяют для номинального расхода воздуха при чистых фильтрах и при отсутствии обходных путей. Плотность воздуха принята равной 1,2 кг/м³.

Фальцевое соединение: Соединение составных частей изделия с применением совместного загибания кромок.

Фасонная деталь: Часть воздуховода, обеспечивающая изменение направления, слияние или разделение, расширение или сужение воздушного потока (отвод, переход, тройник и т.д.).

Фланец: Изделие из стали круглой или прямоугольной формы, закрепляемое на концах воздуховода для придания ему жесткости и соединения со смежными участками сети.

Фланцевое соединение: Соединение составных частей изделия с применением фланцев.

Чистое помещение: Помещение, в котором контролируется концентрация взвешенных в воздухе частиц, чистая зона: Пространство, в котором контролируется концентрация взвешенных в воздухе частиц, построенное и используемое так, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц внутри зоны, и позволяющее, по мере необходимости, контролировать другие параметры, например, температуру, влажность и давление. Построенное и используемое так, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц внутри помещения, и позволяющее, по мере необходимости, контролировать другие параметры, например, температуру, влажность и давление.

Эксплуатируемая (рабочая) зона: Пространство определенного объема в помещении, в котором предусмотрено нахождение людей и заданы требования к параметрам воздушной среды.

Примечание - Эксплуатируемая (рабочая) зона определяется с учетом размеров и назначения помещения.

Как правило, термин "эксплуатируемая зона" используется только для случая нахождения в ней людей и задается объемом воздуха, ограниченным определенными вертикальными и горизонтальными плоскостями.

Вертикальные плоскости параллельны стенам помещения. Как правило, задается высота эксплуатируемой зоны. Эксплуатируемая (рабочая) зона в помещении является пространством, в котором предусмотрено нахождение людей и заданы требования к параметрам окружающей среды.

Эффективность вентиляции E_v : Связь между концентрацией загрязнений в приточном воздухе, вытяжном воздухе и в зоне дыхания (внутри эксплуатируемой зоны).

Примечание - Эффективность вентиляции $\mathcal{E}_в$ вычисляют по формуле

$$\mathcal{E}_в = \frac{C_{\text{выт}} - C_{\text{пр}}}{C_{\text{вн}} - C_{\text{пр}}} \quad (1)$$

где $C_{\text{выт}}$ - концентрация загрязнений в вытяжном воздухе;

$C_{\text{пр}}$ - концентрация загрязнений в приточном воздухе;

$C_{\text{вн}}$ - концентрация загрязнений внутри помещения (в зоне дыхания в пределах эксплуатируемой зоны).

Эффективность вентиляции зависит от распределения воздуха, а также от вида и места нахождения источников загрязнения воздуха. Она может быть разной для различных видов загрязнений. Если происходит полное удаление загрязнений, то эффективность вентиляции равна единице.

В настоящем учебном пособии применяют обозначения и единицы измерения, приведенные в таблице 1, включая единицы, указанные в скобках.

Таблица 1 - Обозначения и единицы измерения

Наименование параметра	Единица измерения
Перепад давления	Па
Разность температур	К
Эффективность вентиляции	-
Температура по Цельсию	°С
Температура воздуха в помещении	°С
Средняя радиационная температура	°С
Рабочая температура	°С
Плотность	кг/м ³
Тепловая нагрузка (нагрузка по холоду)	Вт (кВт)
Площадь зоны	м ²
Концентрация	мг/м ³
Удельная теплоемкость при постоянном давлении	Дж/(кг·К)
Диаметр	м

Продолжение таблицы 1

Удельные утечки	л/(с·м ²)
Высота	м
Тепловое сопротивление одежды	слю
Длина	м
Показатель метаболизма	мет
Срок службы	год
Показатель	ч
Мощность	Вт
Удельная мощность вентилятора	Вт·с/м ³
Давление	Па
Массовый расход	кг/с
Объемный расход	м ³ /ч (л/с, м ³ /с)
Время	с (ч)
Объем	м ³
Скорость воздуха	м/с

1 Исходные данные и положения для проектирования

Исходные данные являются основой для проектирования систем вентиляции и кондиционирования. Они должны содержать критерии для проектирования, монтажа и проведения приемо-сдаточных испытаний систем и общие критерии для всех сторон, включая заказчика, подрядчика, проектную организацию и технический персонал, занимающийся эксплуатацией и техническим обслуживанием систем.

В эксплуатируемой (рабочей) зоне должны быть выполнены требования к параметрам воздуха в помещениях, в том числе требования к комфорту. Для оценки соответствия требованиям может быть использована вся площадь помещения, но соответствие требованиям к комфорту за пределами эксплуатируемой (рабочей) зоны не гарантируется.

Типовые размеры эксплуатируемой (рабочей) зоны приведены на рисунке 1 и в таблице 2.

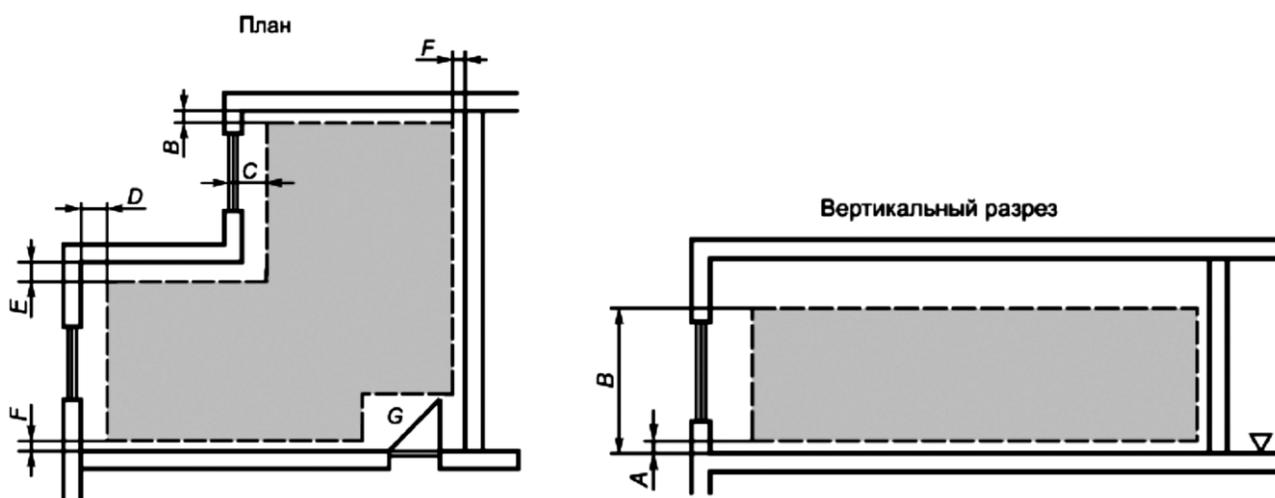


Рисунок 1 - Пример эксплуатируемой (рабочей) зоны (выделена фоном)

Таблица 2 - Размеры эксплуатируемой (рабочей) зоны

Обозначение расстояния от внутренней поверхности до	Типовой диапазон значений, м	Типовое значение, м
A уровня пола	От 0 до 0,20 включ.	0,05
B верхнего уровня рабочей зоны	От 1,30 до 2,00 включ.	1,8
C наружных окон и дверей	От 0,50 до 1,50 включ.	1,0
D элементов системы вентиляции и кондиционирования	От 0,50 до 1,50 включ.	1,0
E наружных стен	От 0,15 до 0,75 включ.	0,5
F внутренних стен	От 0,15 до 0,75 включ.	0,5
G дверей, транзитных зон и пр.	Определяется с учетом конкретных условий	-

При наличии наружных окон и дверей расстояние от внутренней поверхности до рабочей зоны определяют по наибольшему размеру полотна двери или створки окна.

В помещениях с высотой потолка не более 2,5 м обеспечение соответствия требованиям к тепловому комфорту на верхней границе рабочей зоны 2,0 м может оказаться затруднительным.

Если выполнение требований к тепловому комфорту, особенно в отношении подвижности воздуха в зоне нахождения людей и температуры, затруднено, то следует отдельно согласовывать условия для следующих зон:

- а) транзитных;
- б) прилегающих к дверям;
- в) прилегающих к местам притока воздуха;
- г) прилегающих к оборудованию с интенсивными тепловыделением и расходом воздуха.

Если в соответствующих нормативных документах не оговорено иное, то зоны, указанные в перечислениях а) и б), не являются частью эксплуатируемой (рабочей) зоны, а зоны, указанные в перечислениях в) и г), являются частью эксплуатируемой (рабочей) зоны.

Границы эксплуатируемой (рабочей) зоны могут быть определены исходя из организации рабочего места и оборудования или расположения зоны дыхания (по согласованию между заказчиком и исполнителем), если эксплуатируемая (рабочая) зона занимает не все помещение.

2 Назначение систем вентиляции и кондиционирования воздуха и их основные типы

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха предназначены для обеспечения требуемого качества воздуха внутри помещений и для поддержания заданных значений температуры и влажности.

Принятые решения по устройству систем должны отражать особенности конкретного здания и параметры наружного воздуха.

В систему вентиляции входят приточные и вытяжные системы, имеющие, как правило, фильтры очистки наружного воздуха, воздухонагреватели, воздухоохладители, устройства рекуперации тепла вытяжного воздуха.

Приточные системы без вытяжных систем не позволяют осуществлять рекуперацию тепла и могут привести к избытку давления в помещениях, что может представлять опасность для конструкций здания.

Вытяжные системы без приточных систем также не могут удовлетворить всем требованиям по поддержанию микроклимата помещений.

К методам подготовки воздуха, регулирующим температуру и влажность в помещении, относятся нагрев, охлаждение, увлажнение и осушение.

Основные способы управления качеством воздуха в помещениях системами вентиляции зависят от средств контроля и возможностей регулирования термодинамических показателей в помещениях.

Различают следующие типы систем управления качеством воздуха в помещениях:

- управление отсутствует (система работает непрерывно);
- ручное управление (включение и выключение системы осуществляют вручную);
- управление по времени (система работает в соответствии с заданным графиком);
- управление в зависимости от наличия людей в помещении [система включается автоматически при входе людей в помещение и выключается при их выходе (инфракрасные сенсоры, выключатели света и пр.)];
- управление с учетом числа людей в помещении (система обеспечивает расход воздуха в зависимости от числа людей в помещении);
- прямое управление (системой управляют датчики, измеряющие параметры воздуха или связанные с ними величины (например, CO_2 , смесь газов или летучие органические соединения)). Контролируемые параметры выбирают с учетом вида деятельности в помещении.

Лучший результат может быть достигнут при активном управлении. Например, целесообразно организовать непрерывный контроль уровня загрязнений и при его повышении до предельного допустимого значения увеличить расход воздуха.

Регулирование температуры может выполняться как системой вентиляции отдельно, так и в сочетании с нагревом (охлаждением) потолков, полов и пр. С учетом этого различают два основных варианта систем регулирования температуры:

- регулирование только системой вентиляции (любая вентиляционная система);
- регулирование системой вентиляции в сочетании с другими средствами, например нагревательными элементами, охлаждаемыми потолками, радиаторами (смешанная система) и т.п.

2.1 Давление воздуха в помещении

Для обеспечения движения воздуха и загрязнений в нужном направлении между различными зонами здания и/или за пределы здания используется перепад давления, создаваемый потоками приточного и вытяжного воздуха (ветер и стек-эффект отсутствуют).

Различают следующие классы перепадов давления:

- ΔP_1 - пониженное давление (до минус 6 Па включ.);
- ΔP_2 - слегка пониженное давление (от минус 6 до минус 2 Па включ.);
- ΔP_3 - отсутствие перепада давления (от минус 2 до плюс 2 Па включ.);
- ΔP_4 - слегка повышенное давление (от 2 до 6 Па включ.);
- ΔP_5 - повышенное давление (свыше 6 Па).

Выбор класса перепада давления зависит от назначения помещения. В некоторых случаях требуется создать несколько уровней пониженного или повышенного давления для управления потоками воздуха между зонами в здании. Если заданные уровни давления следует поддерживать и при наличии ветра, то корпус здания должен быть герметичным.

Как правило, задаются направления движения воздуха в нормальных условиях (без внешних влияний) и без определения перепадов давления. В условиях

холодного климата повышенное давление может привести к повреждению конструкций здания.

Если в соответствующих нормативных документах не оговорено иное, то предусматривается класс перепадов давления.

2.2 Удельная мощность вентилятора

Классификация вентиляторов (для каждого вентилятора) в зависимости от удельных мощностей приведена в таблице 3.

Таблица 3 - Классификация вентиляторов в зависимости от удельной мощности

Обозначение класса вентилятора	Значение удельной мощности, Вт·с/м ³
P _{в1}	Не более 500 вкл.
P _{в2}	Св. 500-700
P _{в3}	Св. 700-1250
P _{в4}	Св. 1250-2000
P _{в5}	Св. 2000

2.3 Параметры воздушной среды помещений

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха поддерживают следующие параметры воздушной среды помещений:

- тепловой комфорт;
- качество воздуха;
- влажность воздуха;
- уровень шума.

На комфорт и деятельность людей, находящихся в помещении, также влияют:

- характер выполняемой работы и параметры рабочего места;
- освещение и его цвет;
- размеры помещения и мебель;
- возможность обзора пространства за пределами помещения;
- условия работы и служебные взаимоотношения;
- индивидуальные факторы.

Исходные данные для проектирования систем вентиляции и кондиционирования должны быть согласованы между заказчиком и исполнителем. Значения типовых параметров для проектирования приведены в разделе 9, а требования к качеству воздуха, тепловому комфорту, влажности, уровню шума для рабочей зоны приведены в настоящем разделе. Проект системы в целом должен соответствовать ее назначению.

2.4 Качество воздуха в помещении

К наиболее важным факторам для определения воздухообмена в помещении относятся численность людей в помещении, разрешение или запрет курения, данные о выделениях загрязнений от других источников (помимо метаболизма человека и курения). Следует учитывать, что чувствительность человека к качеству воздуха возрастает при повышении температуры и влажности.

В таблице 4 приведены типичный диапазон и типовые значения площадей помещений, приходящихся на одного человека. В проект следует включать расчетные данные. В случае их отсутствия следует использовать данные таблицы 4. При отсутствии информации о курении следует принять, что курение не допускается. Если курение разрешено, то следует выделить зоны для курения.

Следует четко задавать характеристики выделений от других источников (помимо метаболизма человека и курения). В противном случае по согласованию с заказчиком выделения от других источников не учитываются.

Таблица 4 - Площадь помещения, приходящаяся на одного человека

Назначение помещения	Площади пола на одного человека, м ²	
	типовой диапазон значений	типовое значение
Большое офисное помещение	От 7 до 20 включ.	12,0
Малое офисное помещение	От 8 до 12 включ.	10,0
Комната переговоров	От 2 до 5 включ.	3,0
Магазин	От 3 до 8 включ.	4,0
Учебная комната	От 2 до 5 включ.	2,5
Больничная палата	От 5 до 15 включ.	10,0
Номер в гостинице	От 5 до 20 включ.	10,0
Ресторан	От 1,2 до 5 включ.	1,5

Одежда и физическая активность человека также относятся к наиболее важным факторам, влияющим на тепловой комфорт. Типовые значения коэффициента теплового сопротивления одежды и показателя физической активности для офисных и аналогичных помещений приведены в таблице 5.

Тепловой обмен человеческого тела за счет излучения зависит от температуры окружающих поверхностей. Тепловой обмен за счет конвекции зависит от температуры и скорости потока воздуха.

Тепловой комфорт при одежде конкретного вида и физической активности зависит, в основном, от температуры и скорости движения воздуха. Более подробные характеристики, например градиент температуры воздуха по вертикали, наличие теплых и холодных полов, асимметрия излучения, учитывают только в специальных областях применения.

Таблица 5 - Типовые значения коэффициента теплового сопротивления одежды и показателя физической активности для офисных помещений

Наименование параметра	Типовой диапазон значений	Типовое значение (при проектировании)
Коэффициент теплового сопротивления одежды, clo	Лето: от 0,5 до 0,7 включ. Зима: от 0,8 до 1,0 включ.	Лето: 0,5 clo Зима: 1,0 clo
Показатель физической активности (метаболизма), мет	От 1,0 до 1,4 включ. 1,2 мет	7.3

2.5 Температура воздуха

Для большинства общественных зданий характерны низкие скорости потоков воздуха (не более 0,2 м/с) и незначительное различие между температурой воздуха и средней температурой излучения в помещении (не выше 4°C). В связи с этим в настоящем стандарте рабочую температуру в данном месте помещения вычисляют по формуле

$$T_o = \frac{T_a - T_r}{2}, \quad (3)$$

где T_o - рабочая температура в данном месте помещения, °С;

T_a - температура воздуха в помещении, °С;

T_r - средняя температура излучения всех поверхностей (стен, пола, потолка, окон, радиаторов и пр.) для данного места помещения, °С.

Оптимальную рабочую температуру внутреннего воздуха для общественных зданий и помещений определяют по ГОСТ 30494. В таблице 6 приведены значения температуры для офисных помещений.

Таблица 6 - Значения рабочих температур в офисных помещениях

Сезон	Типовой диапазон значений, °С	Типовое значение (при проектировании), °С
Зимний отопительный период	От 19 до 21 включ.	20*
Летний период с охлаждением	От 23 до 25 включ.	25**
* Минимальное значение в течение дня.		
** Максимальное значение в течение дня.		

По возможности, в проекте следует учитывать параметры и характеристики конкретного здания, а не основываться на номинальных или предельных значениях температуры внутреннего воздуха. Требования к температуре также могут зависеть от местных климатических условий, влияющих на тепловой комфорт, что следует учитывать в проекте.

Перепад температуры воздуха внутри помещения должен быть не более 2°С для оптимальных показателей и 3°С - для допустимых, перепад результирующей температуры помещения по высоте обслуживаемой зоны - не более 2°С.

Если в соответствующих нормативных документах не оговорено иное, то установленные значения рабочей температуры должны выполняться в центре помещения на высоте 0,6 м от уровня пола.

По согласованию между заказчиком и исполнителем может быть определен период времени, когда установленные значения могут быть превышены (например, число часов в течение дня или число дней в течение года).

2.6 Скорость движения воздуха и интенсивность сквозняка

Допустимая средняя скорость движения воздуха зависит от интенсивности сквозняка (от процентного отношения людей, испытывающих дискомфорт при сквозняке), температуры воздуха и интенсивности турбулентности.

Интенсивность сквозняка DR, %, вычисляют по формуле

$$DR = (34 - T_a)(v - 0,05)^{0,62}(0,37vTU + 3,14), \quad (4)$$

где T_a - локальная температура воздуха, °С (от 19°С до 27°С);

v - локальная средняя скорость воздуха, м/с;

TU - локальная интенсивность турбулентности, % (принимают 40% для смешанного распределения потока воздуха).

Если не предусмотрено иное, то для определения расчетной температуры воздуха в помещении при интенсивности сквозняка от 10% до 20% и интенсивности турбулентности 40% (смешанный поток воздуха) могут быть использованы данные таблицы 7.

Согласованные значения следует поддерживать на постоянной основе в ходе нормальной эксплуатации, что должно быть предусмотрено проектом.

Таблица 7 - Значения локальной скорости воздуха (среднее значение, м/с, в течение 3 мин измерений для проектирования)

Локальная температура воздуха, °С	Типовой диапазон значений локальной средней скорости воздуха, м/с	Типовое значение, м/с, не более (DR=15 %)
$T_a = 20$	От 0,10 до 0,16 включ./	0,13
$T_a = 21$	От 0,10 до 0,17 включ.	0,14
$T_a = 22$	От 0,11 до 0,18 включ.	0,15
$T_a = 24$	От 0,13 до 0,21 включ.	0,17
$T_a = 26$	От 0,15 до 0,25 включ.	0,20

2.7 Влажность воздуха в помещении

При температуре воздуха от 20°C до 26°C испарение играет незначительную роль в регулировании температуры тела человека. В связи с этим при значениях относительной влажности от 30% до 70% нарушений условий теплового комфорта, как правило, не возникает.

Нижний предел относительной влажности 30% задается для предотвращения сухости в глазах и раздражения слизистых оболочек.

В суровых климатических условиях допускается меньшая влажность в течение ограниченного периода времени (по согласованию между заказчиком и исполнителем и с учетом нормативных требований).

Дискомфорт от слишком сухого воздуха часто обуславливается наличием пыли или других загрязнений.

Низкое значение относительной влажности часто является следствием высокой температуры в помещении и/или слишком большого расхода наружного воздуха.

Эти факторы следует учитывать при применении увлажнения.

Следует избегать длительных периодов с высокой влажностью воздуха ввиду опасности роста грибков, размножения клещей и гниения строительных материалов.

Следует не допускать чрезмерно высоких концентраций частиц, выделяемых этими организмами, которые могут представлять опасность для людей с повышенной чувствительностью.

При отсутствии необходимой информации следует принимать, что другие источники влаги, кроме выделений от людей и инфильтрации воздуха, отсутствуют.

2.8 Шум

Допустимые уровни звукового давления, создаваемого и/или передаваемого системой вентиляции и кондиционирования воздуха и другими установками при-

введены в СП 51.13330. При необходимости можно пользоваться данными таблицы 8. Эти данные являются средними значениями и не учитывают других видов шума снаружи или внутри помещения.

Таблица 8 - Допустимые уровни звукового давления

Назначение здания	Тип помещения	Уровень звукового давления, дБА	
		типовой диапазон значений	типовое значение
Дошкольные образовательные организации	Спальные помещения	От 30 до 45 включ.	40
Общественные здания	Аудитории	От 30 до 35 включ.	33
	Библиотеки	От 28 до 35 включ.	30
	Кинотеатры	От 30 до 35 включ.	33
	Суды	От 30 до 40 включ.	35
	Музеи	От 28 до 35 включ.	30
Коммерческие здания	Магазины	От 35 до 50 включ.	40
	Универмаги	От 40 до 50 включ.	45
	Супермаркеты	От 40 до 50 включ.	45
	Компьютерные помещения большие	От 40 до 60 включ.	50
	Компьютерные помещения малые	От 40 до 50 включ.	45
Медицинские организации	Коридоры	От 35 до 45 включ.	40
	Операционные	От 30 до 48 включ.	40
	Палаты	От 25 до 35 включ.	30
	Спальни (ночь)	От 20 до 35 включ.	30

Продолжение таблицы 8

	Спальни (день)	От 25 до 40 включ.	30
Гостиницы	Холлы и коридоры	От 35 до 45 включ.	40
	Помещения регистрации	От 35 до 45 включ.	40
	Номера (ночь)	От 25 до 35 включ.	30
	Номера (день)	От 30 до 40 включ.	35
Офисные здания	Офисы (малые)	От 30 до 40 включ.	35
	Конференц-залы	От 30 до 40 включ.	35
	Офисы (большие)	От 35 до 45 включ.	40
	Переговорные	От 35 до 45 включ.	40
Рестораны	Кафетерии	От 35 до 50 включ.	40
	Залы ресторанов	От 35 до 50 включ.	45
	Кухни	От 40 до 60 включ.	55
Общеобразовательные организации	Классы	От 30 до 40 включ.	35
	Коридоры	От 35 до 50 включ.	40
	Спортивные залы	От 35 до 45 включ.	40
	Преподавательские	От 30 до 40 включ.	35
Помещения общего пользования	Туалеты	От 40 до 50 включ.	45
	Гардеробы	От 40 до 50 включ.	45

2.9 Тепловой комфорт

Для обеспечения теплового комфорта в типовых помещениях (офисах и пр.) следует руководствоваться ГОСТ Р ИСО 7730.

Чувствительность человека к тепловым условиям связана в основном с тепловым балансом его тела. На этот баланс влияют физическая активность человека, одежда, а также параметры среды: температура внутреннего воздуха, среднее тепловое излучение, скорость движения и влажность воздуха. Если проведены оценка и измерение этих факторов, то можно спрогнозировать чувствительность тела в целом к температуре окружающей среды путем расчета прогнозируемой средней оценки (PMV).

Показатель прогнозируемого процентного содержания недовольных (PPD) позволяет получить информацию о тепловом дискомфорте или недовольстве температурой среды на основе прогноза процентного содержания людей, которым слишком тепло или холодно в конкретной термальной среде.

Тепловой дискомфорт также может быть вызван локальным охлаждением или нагревом тела человека.

Наиболее общими факторами локального дискомфорта являются асимметрия теплового излучения (холодные или теплые поверхности), сквозняк (локальное охлаждение тела, вызванное движением воздуха), разница в температуре внутреннего воздуха по вертикали, а также холодные или теплые полы.

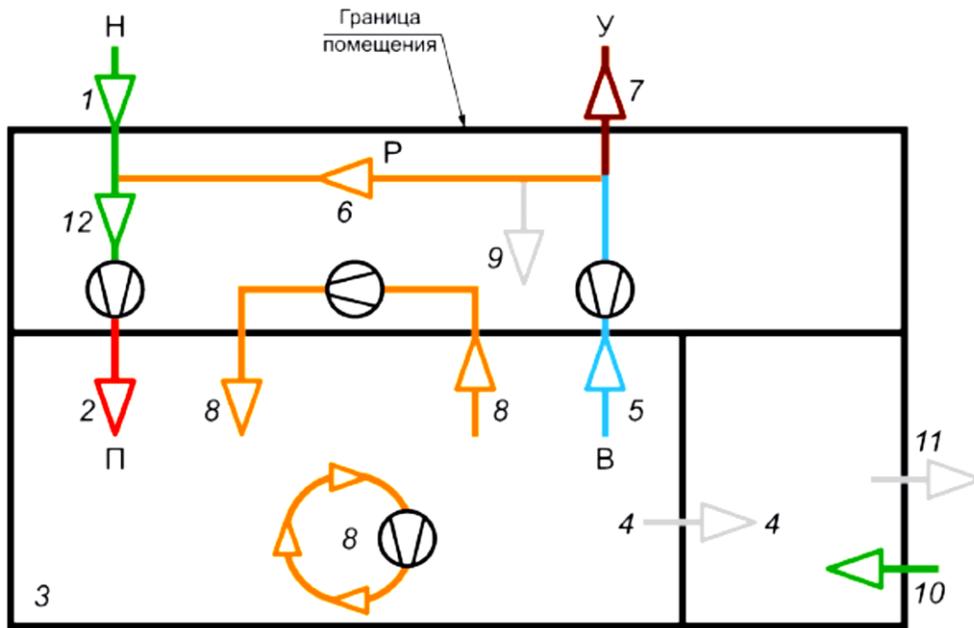
3 Организация воздухообмена в помещениях

3.1 Типы потоков воздуха

Возможные типы потоков воздуха в здании и системах вентиляции и кондиционирования воздуха показаны на рисунке 2.

В чертежах систем вентиляции и кондиционирования воздуха для указания

типа потока воздуха следует применять сокращения и условные обозначения в соответствии с требованиями ГОСТ 21.602-2016 (таблица 1).



1 - наружный воздух (Н); 2 - приточный воздух (П); 3 - воздух в помещении (В); 4 - перетекающий воздух; 5 - вытяжной воздух (В); 6 - рециркуляционный воздух (Р); 7 - удаляемый воздух (У); 8 - вторичный воздух; 9 - утечка; 10 - инфильтрация; 11 - эксфильтрация; 12 - воздушная смесь

Рисунок 2 - Типы потоков воздуха

Рекомендуемые цветовые обозначения потоков воздуха, приведенные на рисунке 2:

- наружный воздух, поступающий в системы вентиляции и кондиционирования, - зеленый;
- приточный воздух, подаваемый в помещения системами приточной вентиляции и кондиционирования воздуха после подготовки, - красный;
- вытяжной воздух, удаляемый из помещения, - синий;
- воздух в помещении - серый;

- рециркуляционный воздух (часть вытяжного воздуха, возвращаемого в систему вентиляции и кондиционирования) - оранжевый;
- вторичный воздух (воздух, отбираемый из помещения и возвращаемый в то же помещение, например после обработки в вентиляторном конвекторе) - оранжевый;
- перетекающий воздух - серый;
- вытяжной воздух, удаляемый в атмосферу, - коричневый;
- удаляемые продукты горения системами вытяжной противодымной вентиляции при пожаре - фиолетовый;
- наружный воздух, подаваемый в помещения здания системами приточной противодымной вентиляции, в том числе на компенсацию удаляемых продуктов горения, - оранжевый.

3.2 Классификация потоков воздуха

3.2.1 Общие положения

Разработчики проекта, заказчики и другие стороны (при необходимости) должны согласовывать основные требования к параметрам воздуха. При этом используют классификацию, приведенную в 4.2.4.

3.2.2 Наружный воздух

При проектировании систем вентиляции следует учитывать качество наружного воздуха вблизи здания или предполагаемого места расположения здания. Возможны два основных способа снижения влияния загрязненного наружного воздуха на среду внутри помещения:

- располагать приемные устройства наружного воздуха в наименее загрязненных местах, если уровень загрязнений вблизи здания не является равномерным;
- предусматривать очистку воздуха.

Для очистки воздуха допускается использовать различные методы в зависимости от требований к качеству воздуха в помещении и от степени загрязнения наружного воздуха газами, частицами или тем и другим, а также в зависимости от размеров частиц, имеющих значение для конкретного случая.

Концентрация вредных веществ в наружном (атмосферном) воздухе, используемом для вентиляции, не должна превышать ПДК в воздухе населенных мест.

Значения ПДК вредных веществ, наиболее часто присутствующих в атмосферном воздухе, представлены в таблице 9.

При совместном присутствии в атмосферном воздухе нескольких вредных веществ, обладающих суммацией действия, сумма их относительных концентраций не должна превышать 1:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1, \quad (5)$$

где C_i - величина концентрации i -го загрязняющего вещества в наружном воздухе, мг/м^3 .

Таблица 9 - ПДК вредных веществ в воздухе населенных пунктов

Вещество ПДК в наружном воздухе, мг/м^3	ПДК в наружном воздухе, мг/м^3	
	максимальная разовая	среднесуточная
Азота двуокись	0,085	0,04
Нетоксичная пыль	0,5	0,15
Свинец	0,001	0,0003
Сернистый ангидрид	0,5	0,05
Углеводороды (бензол)	0,3	0,1
Углерода окись	5	3
Фенол	0,01	0,003
Углекислый газ*:		
- в населенной местности (селе)	650	650
- в малых городах	800	800
- в больших городах	1000	1000

* ПДК для углекислого газа не нормируется, данная величина является справочной.

Примерная классификация наружного воздуха приведена в таблице 10.

Таблица 10 - Классификация наружного воздуха

Обозначение класса	Характеристика
Н1	Воздух, который может загрязняться лишь периодически (например, пылью)
Н2	Наружный воздух с высокой концентрацией частиц
Н3	Наружный воздух с высокой концентрацией загрязнений в газообразной форме
Н4	Наружный воздух с высокой концентрацией частиц и загрязнений в газообразной форме
Н5	Наружный воздух с очень высокой концентрацией частиц и загрязнений в газообразной форме

При классификации учитывают наиболее критические загрязнения в газообразной форме и в виде частиц (включая твердые частицы и соляной туман). Воздух считается чистым, если выполнены требования и национальных стандартов по качеству воздуха:

- твердые частицы - рекомендуемые значения для частиц менее 2,5 мкм (ТЧ2,5): 10 мкг/м³ среднегодовое

значение, 25 мкг/м³ - среднесуточное значение; для частиц, которые попадают в дыхательные пути (ТЧ10): 20 мкг/м³ - среднегодовое значение, 50 мкг/м³ - среднесуточное значение;

- озон - рекомендуемые значения O₃: 100 мкг/м³ усредненное значение за 8 ч;

- двуокись азота - рекомендуемые значения NO₂: 40 мкг/м³ - среднегодовое значение, 200 мкг/м³ - усредненное значение за 1 ч;

- двуокись серы - рекомендуемые значения SO₂: 20 мкг/м³ - среднесуточное значение, 500 мкг/м³ - усредненное значение за 10 мин.

Концентрация загрязнений считается высокой, если она превышает установленное значение, но не более чем в 1,5 раза. Концентрация считается очень высокой, если она превышает установленное значение более чем в 1,5 раза.

При проектировании следует также оценивать виды загрязнений, не учтенные нормативными документами (при необходимости). Следует учитывать влияние не только отдельных загрязнений, но и влияние их комбинаций.

Типичными загрязнениями в газообразной форме, которые следует учитывать при проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха, являются оксид углерода, двуокись углерода, двуокись серы, оксиды азота и летучие органические соединения (бензол, растворители, полиароматические углеводороды и пр.).

Влияние этих загрязнений наружного воздуха на воздух в помещениях зависит от степени их химической активности.

Например, оксид углерода относительно стабилен и плохо абсорбируется на поверхностях внутри помещений. Содержание в наружном воздухе озона, напротив, не учитывают при проектировании, так как он обладает высокой активностью и его концентрация резко снижается в системе вентиляции и в помещении.

Другие загрязнения в газообразной форме занимают промежуточное положение.

К частицам относятся все твердые или жидкие объекты в воздухе от видимой пыли до объектов субмикронных размеров. Во многих случаях чистоту воздуха оценивают концентрацией частиц с размерами (аэродинамическим диаметром) более 10 мкм (индекс PM10). Для целей охраны здоровья следует учитывать и частицы меньших размеров. При необходимости защиты от инфекций или иммунном риске следует, в первую очередь, учитывать частицы биологической природы.

Уровни загрязнения наружного воздуха приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Примеры содержания загрязнений в наружном воздухе

Местность	Концентрация в воздухе					
	CO ₂ , ppm	CO, мг/м ³	NO ₂ , мкг/м ³	SO ₂ , мкг/м ³	частиц	
					Общая концентра- ция, мг/м ³	мкг/м ³
Сельская местность, существенные источ- ники отсутствуют	350	<1	5-35	<5	<0,1	<20
Небольшой город	375	1-3	15-40	5-15	0,1-0,3	10-30
Загрязненный центр большого города	400	2-6	30-80	10-50	0,2-1,0	20-50

Примечание - Приведенные значения являются среднегодовыми. Их не следует использовать при проектировании, так как максимальные концентрации будут выше. Для более подробной информации следует выполнить оценку загрязнений на месте или пользоваться соответствующими нормативными документами.

При превышении в наружном воздухе ПДК, должны быть приняты меры по устранению источников выделения вредных веществ или, при невозможности их устранения, должна быть предусмотрена очистка приточного воздуха до ПДК загрязняющих веществ.

3.2.3 Приточный воздух

Классификация приточного воздуха приведена в таблице 12/

Таблица 12 - Классификация приточного воздуха

Класс	Характеристика
П 1	Приточный воздух, состоящий только из наружного воздуха
П 2	Приточный воздух, состоящий из наружного и рециркуляционного воздуха

Примечание - Рециркуляционный воздух может принудительно подаваться в приточный воздух либо попадать в него путем утечки. Особое внимание следует уделять рекуператорам (в части возможных перетоков воздуха).

Качество приточного воздуха должно обеспечивать соответствующее требованиям качество воздуха в помещениях с учетом выделения загрязнений от человека, технологических процессов, строительных материалов, мебели, самой системы вентиляции и пр.

При задании требований к качеству приточного воздуха рекомендуется учитывать загрязнения, выделяемые в самом помещении, и, по возможности, увязывать их с требованиями стандартов.

При определении расхода наружного и приточного воздуха следует учитывать:

- присутствие курящих и некурящих людей;
- другие известные источники выделения загрязнений;
- избыток тепла или холода, который должен быть удален средствами вентиляции.

Количество воздуха, необходимое для обеспечения нормативных параметров воздушной среды в рабочей зоне, следует определять расчетным методом, учитывая неравномерность распределения вредных веществ, тепла и влаги в объеме помещений, в частности:

- в помещениях с тепловыделениями расчет ведется по избыткам явного тепла;
- в помещениях с тепло- и влаговыделениями расчет ведется по избыткам явного тепла, влаги, скрытого тепла с учетом необходимого предупреждения конденсации влаги на поверхностях строительных конструкций и оборудования;
- в помещениях с одновременным выделением в воздух нескольких вредных веществ расчет ведется по тому веществу, которое требует наибольшего расхода воздуха для обеспечения его ПДК (при однонаправленном действии вредных веществ расход воздуха определяется по каждому веществу с последующим их суммированием);

- в помещениях с одновременным выделением вредных веществ, тепла и влаги расчет ведется по каждому виду выделений, при этом для проектирования используются результаты расчета с наибольшим расходом воздуха.

Количество выделяющихся в помещениях вредных веществ, тепла и влаги следует принимать по данным технологической части проекта, нормам технологического проектирования или паспорта на технологическое оборудование.

При отсутствии необходимых сведений проводят исследования по оценке валовых выделений вредных веществ, тепла и влаги от технологического оборудования, работающего с полной нагрузкой в натуральных или лабораторных условиях, допускается использование результатов натуральных исследований на аналогичных объектах или данных, полученных путем расчетов, что должно быть отражено в проекте.

Определение количества воздуха, необходимого для обеспечения нормативных параметров воздушной среды в рабочей зоне по кратности воздухообмена, не допускается, за исключением случаев, обоснованных нормативными документами, утвержденными в установленном порядке.

Содержание вредных веществ в приточном воздухе (при выходе из воздухо-распределителей и других приточных отверстий) следует определять расчетным методом с учетом фоновых концентраций этих веществ в местах размещения воздухо-приемных устройств, но не более 30% ПДК в воздухе рабочей зоны помещений.

Содержание пыли в приточном воздухе, подаваемом механической вентиляцией после соответствующей очистки, не должно превышать ПДК для атмосферного воздуха населенных пунктов при его подаче в помещения общественных зданий.

Воздуховоды должны быть герметичными для предотвращения непредусмотренных потерь приточного воздуха.

Расход приточного воздуха $g_{\text{вп}}$, м³/с, необходимого для удаления выделяемых загрязнений с учетом допустимой концентрации загрязнений в помещении, вычисляют по формуле

$$g_{\text{вп}} = \frac{g_{m,E}}{C_{\text{п}} - C_{\text{ПДК}}}, \quad (6)$$

где g_{mE} - интенсивность выделения загрязнений в помещении, мг/с;

$C_{\text{ПДК}}$ - допустимая концентрация выделения загрязнений в помещении, мг/м³;

$C_{\text{п}}$ - концентрация загрязнений в приточном воздухе, мг/м³.

Следует определить все возможные источники выделения загрязнений. Снижение выделения загрязнений является предпочтительным решением по сравнению с вентиляцией.

По формуле (6) расход приточного воздуха вычисляют для установившегося состояния с продолжительными постоянными выделениями. Если период выделения загрязнений краток, то равнозначное значение концентрации может быть не достигнуто, или расход воздуха может быть снижен с учетом заданного максимального уровня концентрации. Зависимость концентрации от времени (расход приточного воздуха равен расходу вытяжного воздуха) вычисляют по формуле

$$C_a(t) - C_{\text{п}} = C_a(0) + \frac{g_{m,E}}{g_{\text{вп}}} \left(1 - e^{-\frac{g_{\text{вп}}}{V_a} t} \right), \quad (7)$$

где $C_{a(t)}$ - концентрация загрязнений в помещении в момент времени, мг/м³;

$C_{\text{п}}$ - концентрация загрязнений в приточном воздухе, мг/м³;

$C_{a(0)}$ - концентрация загрязнений в помещении в начальный момент времени, мг/м³;

g_{mE} - интенсивность выделения загрязнений в помещении, мг/с;

$g_{\text{вп}}$ - расход приточного воздуха, м³/с;

V_a - объем помещения, м³;

t - время, с.

В ряде случаев расход воздуха определяется по избыткам теплоты или холода, которые должны быть ассимилированы средствами вентиляции. Если расход воздуха для этой цели значительно выше, чем устанавливаемый по настоящему пункту, то более эффективным может оказаться другой метод удаления избытков теплоты или холода.

Расход приточного воздуха для удаления избытков теплоты или холода, м³/с, вычисляют по формуле

$$g_{\text{вп}} = \frac{Q}{\rho c_p (T_a - T_{\text{п}})}, \quad (8)$$

где Q - тепловая нагрузка от источников тепла в помещении, Вт;

ρ - плотность воздуха, кг/м³;

c_p - удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К);

T_a - нормируемая температура в помещении, °С;

$T_{\text{п}}$ - температура приточного воздуха, °С.

Плотность и теплоемкость воздуха зависят от его температуры и давления. Следует определить их значения в конкретных условиях.

При проектировании систем вентиляции и кондиционирования следует правильно определить тепловыделения от источников внутри помещения в зависимости от времени.

Примечание - Переоценка тепловыделений внутри помещений может привести к неоправданным капитальным и текущим затратам, недооценка - к превышению температуры в сезон, когда работает система охлаждения.

Тепловыделение от персонала состоит из явной теплоты (излучение и конвекция) и скрытой теплоты (испарения). На повышение температуры влияет только явная теплота. В таблице 13 приведены значения тепловыделений при температуре воздуха 24°С.

Таблица 13 - Тепловыделения от персонала при различных видах физической активности

Физическая активность	Общие тепловыделения		Скрытые тепловыделения, Вт/чел.
	0,8	80	
Спокойная поза, полулежа	0,8	80	55
Спокойная поза сидя, отдых	1,0	100	70
Работа в положении сидя (офис, школа, лаборатория)	1,2	125	75
Легкая работа стоя (магазин, лаборатория, легкая работа на производстве)	1,6	170	85
Работа средней тяжести стоя (помощник продавца, работа с механизмами)	2,0	210	105
Ходьба со скоростью, км/ч:			
2	1,9	200	100
3	2,4	250	105
4	2,8	300	110
5	3,4	360	120

Примечание - В таблице приведены округленные значения для тела человека с площадью поверхности 1,8 м²/чел.

При более высокой температуре общие тепловыделения остаются такими же, но значения скрытого тепла уменьшаются (при $T_a = 26^{\circ}\text{C}$) на 20%.

При проектировании систем вентиляции следует учитывать тепловыделение от светильников. Типовой диапазон значений освещенности приведен в таблице 14. Эти значения являются средними для всего помещения.

Таблица 14 - Освещенность, принимаемая при проектировании

Тип помещения	Освещенность, лк	
	типовой диапазон значений	типовое значение
Офис с окнами	От 300 до 500 включ.	400
Офис без окон	От 400 до 600 включ.	500
Универмаг	От 300 до 500 включ.	400
Класс	От 300 до 500 включ.	400
Больничная палата	От 200 до 300 включ.	200
Гостиничный номер	От 200 до 300 включ.	200
Ресторан	От 200 до 300 включ.	200
Нежилое помещение	От 50 до 100 включ.	50

Расходы электроэнергии на освещение зависят от принимаемых технических решений. Типовые значения для энергоэффективных систем приведены в таблице 15.

При проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха следует учитывать все существенные выделения от оборудования, находящегося в помещениях, и периодичность их проявления.

В офисах тепловыделение от оборудования обычно составляет в среднем 25-200 Вт/рабочее место в течение рабочего дня. В качестве номинального значения принимают 100 Вт/рабочее место в течение восьмичасового рабочего дня.

Таблица 15 - Расход электроэнергии на освещение для энергоэффективных систем

Освещенность, лк	Удельный расход электроэнергии, Вт/м ²	
	Типовой диапазон значений	Типовое значение
50	От 2,5 до 3,2 включ.	3
100	От 3,5 до 4,5 включ.	4
200	От 5,5 до 7,0 включ.	6
300	От 7,5 до 8,5 включ.	8
400	От 9,0 до 12,5 включ.	10
500	От 11,0 до 15,0 включ.	12

Примечание - При использовании систем освещения с низкой эффективностью

расход электроэнергии может увеличиться в два раза и более. Дополнительная мощность может потребоваться на местное освещение, при использовании других специальных систем освещения или поверхностей помещений темных цветов.

3.2.4 Воздух в помещениях

Основные классы воздуха в помещениях приведены в таблице 16 (для помещений, в которых находятся люди).

Таблица 16 - Классификация воздуха в помещениях

Класс	Характеристика
B1	Высокое качество воздуха в помещениях
B2	Среднее качество воздуха в помещениях
B3	Приемлемое качество воздуха в помещениях
B4	Низкое качество воздуха в помещениях

Точное определение каждого класса зависит от характера источника загрязнений и воздействия этих загрязнений. Например, источники загрязнений могут быть:

- локализованными или распространенными по всему зданию;
- действующими непрерывно или периодически;
- выделяющими частицы (неорганические, жизнеспособные, органические)

или газы (пары – органические или неорганические).

Влияние качества воздуха (например, на слизистые поверхности) может быть различным для людей с разными индивидуальными особенностями и состоянием здоровья. Оно может проявляться в виде реакций на токсичные и канцерогенные вещества и аллергических реакций. Это влияние на взрослых, детей и больных, находящихся в медицинских организациях, может иметь индивидуальный характер.

Исчерпывающее определение качества воздуха в помещениях является сложной задачей и не рассматривается в настоящем стандарте.

Для практических целей используются четыре класса качества воздуха в помещениях. Количественные показатели для одного и того же класса могут быть различными в зависимости от рассматриваемого вида загрязнений.

Выбор показателя и метода его оценки зависит от назначения помещения и предъявляемых к нему требований. Требуемый расход наружного воздуха может различаться для одного и того же класса в зависимости от принятого показателя. Допускается использовать и другие методы оценки качества воздуха в помещениях.

Классификация по концентрации CO₂

В таблице 17 приведена классификация воздуха в помещениях по концентрации CO₂, соответствующая результатам исследований и принятой практике. является хорошим индикатором биологических выделений от человека. Классификация по концентрации широко применяется для тех помещений, в которых находятся люди, но запрещено курение, и загрязнения являются, в основном, следствием метаболизма человека. Типовые концентрации, добавляемого к наружному воздуху находящимися в помещении людьми, приведены в таблице 17.

Таблица 17 - Содержание в помещениях

Класс	Содержание CO ₂ в помещениях сверх содержания в наружном воздухе, ppm	
	типовые пределы	типовые значения
B1	До 400 включ.	350
B2	400-600	500
B3	600-1000	800
B4	Св. 1000	1200

Классификация по очищаемому загрязнению воздуха в дециполах

Метод классификации применяется для помещений, в которых находятся

люди, но отсутствует риск загрязнений опасными неоощушаемыми людьми загрязнениями, например СО, радоном. Типовые значения приведены в таблице 18.

Таблица 18 - Ощущаемое загрязнение воздуха в помещениях, в которых находятся люди

Класс	Ощущаемое загрязнение воздуха в дециполах	
	типовые пределы	типовые значения
B1	До 1,0 включ.	0,8
B2	1,0-1,4	1,2
B3	1,4-2,5	2,0
B4	Св. 2,5	3,0

Метод не нашел широкого применения из-за его сложности для практического использования. Его следует применять только в тех случаях, когда есть вся необходимая информация об интенсивности выделения загрязнений.

Косвенная классификация по расходу наружного воздуха на одного человека

Этот метод широко используется для тех помещений, в которых находятся люди. В таблице 19 приведен расход наружного воздуха, подаваемого системой вентиляции на одного человека, имеющего показатель метаболизма 1,2 мет, при нормальной работе в офисе или дома. Эти значения учитывают выделения от людей и материалов помещений (для материалов с низкой интенсивностью выделения загрязнений). При более активной работе (показатель метаболизма превышает 1,2 мет) расход наружного воздуха следует увеличить путем умножения значений по таблице 19 на дробь (показатель метаболизма/1,2).

Таблица 19 - Расход наружного воздуха на одного человека

Класс	Единица измерения	Значение расхода наружного воздуха			
		курение запрещено		курение разрешено	
		предельное	номинальное	предельное	номинальное
B1	м ³ /(ч·чел)	Свыше 60	60	Св. 100	150
B2	м ³ /(ч·чел)	36-54	45	72-108	90
B3	м ³ /(ч·чел)	22-36	29	43-72	58
B4	м ³ /(ч·чел)	До 22 включ.	18	До 43 включ.	36

Рекомендуется применять материалы с низкой интенсивностью выделения загрязнений (для мебели, ковровых покрытий и т.п.). Это дает больший эффект, чем повышение расхода наружного воздуха систем вентиляции и кондиционирования воздуха для разбавления выделяемых загрязнений.

Зоны, в которых запрещено или разрешено курение, рекомендуется разделять.

Классификация по уровням концентраций для отдельных видов загрязнений

Этот метод применяется при наличии значительных выделений загрязнений отдельных видов. Если информации о выделениях внутри помещения достаточно, то параметры системы вентиляции могут быть рассчитаны по формуле (6). Если интенсивность выделений неизвестна, то требуемое качество воздуха может быть задано косвенно по расходам воздуха, основанным на опыте.

Косвенная классификация по расходу воздуха на единицу площади пола

Этот метод может быть использован при проектировании помещений, не предназначенных для постоянного нахождения в них людей, в том случае, когда не задан уровень загрязнений исходя из назначения помещений (например, склады). В этом случае расход воздуха задается на единицу площади пола (см. таблицу 20) в предположении, что система вентиляции работает в течение 50% рабочего времени, а высота помещения не превышает 3 м. Если система работает в течение

меньшего времени, а высота помещения превышает 3 м, то расход воздуха следует увеличить.

Таблица 20 - Расход наружного или перетекающего воздуха на единицу площади пола для помещений, в которых не предусмотрено постоянное нахождение людей

Класс	Единица измерения	Значение расхода наружного и перетекающего воздуха на единицу площади пола	
		предельное	номинальное
B1	$\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$	*	*
B2	$\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$	Св. 2,5	3
B3	$\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$	1,3-2,5	2
B4	$\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$	До 1,3 включ.	1

* Для класса В 1 данный метод не применяется

3.2.5 Вытяжной и удаляемый воздух

Классификация вытяжного и удаляемого воздуха приведена в таблице 21. Если общий поток удаляемого воздуха складывается из потоков воздуха из различных помещений, то общему потоку присваивается класс, характеризующийся наибольшим уровнем загрязнений.

Класс вытяжного воздуха устанавливается для воздуха, прошедшего предусмотренную очистку. Метод очистки воздуха (при ее наличии) и ее эффективности должны быть четко определены, причем эффективность очистки должна проверяться при пусконаладочных работах и в процессе эксплуатации системы. Следует принимать во внимание и фактор стоимости, особенно если предусмотрена очистка воздуха более чем на один класс.

Таблица 21 - Классификация вытяжного (удаляемого) воздуха

Обозначение класса	Характеристика	Примеры
У 1 Вытяжной воздух с низким уровнем загрязнений	Воздух из помещений, в которых основным источником загрязнений являются материалы и конструкции здания, а также люди (за исключением помещений, где разрешено курение)	Офисы, включая небольшие кладовые, места общественного пользования, учебные классы, коридоры, залы совещаний, торговые помещения, в которых отсутствуют дополнительные источники загрязнений
У 2 Вытяжной воздух с умеренным уровнем загрязнений	Воздух из помещений, где находится персонал, но уровень загрязнений выше, чем для класса У 1 (источники загрязнений те же). Помещения, которые могут быть отнесены к классу У 1, но в которых разрешено курение	Столовые, кухни для приготовления горячих напитков, магазины, складские помещения в офисных зданиях, помещения гостиниц, гардеробы
У 3 Вытяжной воздух с высоким уровнем загрязнений	Воздух из помещений, в которых происходит выделение влаги, выполняются химические процессы, хранятся химикаты, т.е. действуют факторы, существенно снижающие качество воздуха	Туалеты и комнаты для умывания, сауны, кухни, химические лаборатории, помещения для копирования, комнаты для курения

<p>У 4</p> <p>Вытяжной воздух с очень высоким уровнем загрязнений</p>	<p>Воздух, имеющий запахи и загрязнения, вредные для здоровья, в концентрациях, значительно превышающих ПДК в помещениях с людьми</p>	<p>Вытяжные укрытия специального назначения, местные вытяжки из кухонь и грилей, гаражи, тоннели для движения транспорта, места для стоянки машин, помещения для работы с красками и растворителями, помещения для химической чистки, помещения, в которых находятся остатки пищевых продуктов, системы централизованной вакуумной уборки, интенсивно используемые курительные комнаты и химические лаборатории</p>
---	---	---

3.2.6 Расход вытяжного воздуха

В системе вентиляции, сбалансированной с применением механических средств, расход вытяжного воздуха определяется расходом приточного воздуха и требуемым давлением в помещении.

Типовые значения расхода вытяжного воздуха для встроенных кухонь, туалетов и комнат для умывания приведены в таблице 22. Вытяжной воздух может заменяться наружным воздухом или воздухом из других помещений. В отдельных областях применения расход вытяжного воздуха следует определять с учетом возможности влияния на окружающую среду (в настоящем стандарте данный вопрос не рассматривается).

Таблица 22 - Проектные значения расхода вытяжного воздуха

Помещение	Единица измерения	Типовое значение	Типовое значение для проектирования
Кухни для обычного использования	м ³ /ч	60-90	60
Туалеты/комнаты для умывания*: на помещение (минимум)	м ³ /ч	Свыше 25 включ.	25
Ванные и душевые комнаты: на единицу площади пола	м ³ /ч м ³ /(ч· м ²)	50 Свыше 5,0 включ.	50 7,2

* Вентиляция работает в течение не менее 50% всего времени. При меньшем времени работы требуется больший расход воздуха. Меньшие значения допускаются при непосредственной вытяжке воздуха из туалета (типовые значения - от 10 до 20 м /ч на туалет).

4 Этапы работ от начала проектирования до ввода в эксплуатацию

Выполнение и состав работ от начала проектирования до ввода объекта в эксплуатацию должны быть оформлены договором.

Начало проектирования, сбор и анализ исходных данных.

Ответственность заказчика и проектной организации определена договором. Если одна из сторон не предоставляет необходимой информации, то другая сторона должна запросить ее официально. Достижение соглашения в письменной форме между заказчиком и проектной организацией по основным требованиям имеет принципиальное значение.

Заказчик должен предоставить проектной организации данные о территории строительства, характеристику здания, архитектурно-строительные чертежи, технические условия на подключение к наружным инженерным сетям, техническое задание на проектирование и другие требования, которые он задает остальным участникам проектирования и строительства.

Проектная организация и заказчик должны также согласовать критерии, по которым будут проведены приемка проектных работ, сроки ее выполнения, ответственность сторон, приемо-сдаточные испытания и требования к эксплуатации систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Все требования должны быть изложены четко и ясно. Перечень исходных данных также зависит от методов расчета. Проектная организация должна сама определить перечень необходимых исходных данных, необходимых для проектирования.

Место расположения, факторы, влияющие на проектирование за пределами здания, соседние объекты

Проектной организации следует, по возможности, получить от заказчика данные о месте расположения здания, существующих соседних объектах (близлежащие здания, объекты, дающие тень или эффект отражения, источники вредных выделений на местности и другие данные, которые следует учесть при проектировании), фоновых концентрациях загрязнения наружного воздуха, а также об уровне шума и ветровой нагрузке (при необходимости). Класс наружного воздуха следует определять по таблице 10.

Климатические данные

Следует определить климатические данные для холодного и теплого периодов года. Наиболее важными параметрами для проектирования являются:

- холодный период года - наружная температура и расчетная скорость ветра;
- теплый период года - наружная температура, расчетная скорость ветра и солнечная радиация.

В отдельных случаях целесообразно использование дополнительной информации об экстремальных параметрах наружного воздуха, особенно в отношении условий комфорта. Проектная организация должна задать базовые характеристики для оценки годового потребления энергии системами.

Данные об использовании здания

Проектная организация должна получить от заказчика данные о функциональном назначении здания и его помещений, категоричности помещений по взрыво- и пожароопасности, порядке использования здания в рабочие дни, нерабочие периоды года (например, для общеобразовательных организаций), а также общие данные об эксплуатации здания в выходные дни, ночной период и т.п.

Данные о конструкции здания

Следует запросить от генпроектировщика состав наружных ограждений, теплотехнические показатели наружных ограждений и заполнения световых проемов, определить перечень всех элементов здания с необходимыми сведениями об их конструкции. Следует указать ориентацию здания по странам света.

Использование помещений

Следует получить от заказчика или генпроектировщика данные о назначении здания (в том числе групп помещений различного функционального назначения), а также получить спецификацию всех помещений с указанием их площади и строительного объема здания и характерных обособленных его частей.

Следует получить от заказчика или генпроектировщика численность людей, которые могут находиться в помещении в течение длительного времени (при отсутствии задания можно пользоваться данными таблицы 4). На основании этого числа определяется кратность воздухообмена в том числе с использованием данных, приведенных в таблицах 13-15, 17, 19, 20. Дополнительно учитывают вид деятельности сотрудников и находящихся в здании людей с учетом наличия одежды согласно данным таблицы 5.

Численность людей указывают по часам (для смены) для конкретных условий.

Для помещений (групп помещений) аналогичного назначения необходимо задать следующие внутренние нагрузки:

- тепловые нагрузки по явной теплоте (конвекции или излучения);
- скрытые тепловые нагрузки.

Эти нагрузки задают по часам дня (смены).

Проектная организация и заказчик должны согласовать данные по выделению загрязнений, тепла и влаги в помещениях для каждого вида. Интенсивность выделения каждого вида загрязнений и допустимые пределы указывают по часам дня (смены).

Требования к помещениям

Для каждого помещения (групп помещений аналогичного назначения) должны быть заданы требования в соответствии с разделом 7 и согласованы проектировщиком и заказчиком. Эти требования должны учитывать условия теплового комфорта и влияние подвижности воздуха в зоне нахождения людей.

Заказчик может устанавливать собственные требования и требования, приведенные в других разделах настоящего стандарта. Проектная организация несет ответственность за определение специальных требований для эксплуатируемых (рабочих) зон, в которых находятся люди.

Дальнейшие этапы проектирования, строительства и сдачи в эксплуатацию:

- разработка задания на проектирование и технические условия (требования);
- получение исходно-разрешительной документации;
- проектирование;
- монтаж;
- проверка монтажа;
- пуск системы, проверка ее функционирования, регулирование баланса воздухообмена, оформление протоколов испытаний;
- информирование заказчика о завершении монтажа;
- выполнение функциональных проверок и измерений, а также специальных измерений;

- сдача системы заказчику, включая передачу всей документации по эксплуатации и техническому

обслуживанию (гарантийный период начинается с момента сдачи системы).

Эксплуатация и техническое обслуживание

Для системы вентиляции и кондиционирования воздуха должны быть предусмотрены требования к эксплуатации и техническому обслуживанию в целях поддержания работоспособности в течение всего срока службы. Проект и конструкция системы должны предусматривать удобство ее очистки, технического обслуживания и эксплуатации. Следует предусмотреть необходимые средства защиты и обеспечения безопасности при выполнении технического обслуживания и ремонта, а также порядок аварийного выключения.

Примечание - Более подробные требования к безопасности при эксплуатации и техническом обслуживании могут регламентироваться другими нормативными документами.

Любая система вентиляции и кондиционирования воздуха требует надлежащей эксплуатации и технического обслуживания в целях обеспечения требуемых условий и качества воздуха в помещении, энергосбережения, исключения попадания загрязнений из системы вентиляции в помещения, предотвращения отказов системы и ее преждевременного износа.

Рекомендуется вести:

- журналы по эксплуатации и техническому обслуживанию;
- учет потребления энергии.

В журналах следует указывать описание методов контроля и периодичность технического обслуживания с указанием ответственных лиц. Проект и конструкция системы должны предусматривать выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Организация учета потребления энергии должна предусматривать возможность периодического контроля потребления энергии во всем здании и в отдель-

ных важных системах. В связи с этим требования к учету и средствам контроля должны быть заданы на ранних стадиях проектирования.

При внесении изменений в систему следует также изменять порядок ее эксплуатации с корректировкой соответствующих требований.

5 Воздуховоды

Классификация воздуховодов по материалу изготовления

Воздуховоды, прокладочные материалы, герметики, элементы крепления, соединения, материалы, из которых изготавливают воздуховоды, должны иметь сертификаты, подтверждающие соответствие действующим нормам и правилам. Использование для изготовления воздуховодов бывших в употреблении профилей, полос, других металлоконструкций, металлических листов и других материалов не допускается.

Для систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления применяют воздуховоды из листовой стали, металлопласта, металлической фольги, материи, пластика, каналы и шахты в строительном исполнении из кирпича, бетона, железобетона, панельные, сэндвич-воздуховоды.

Для систем противопожарной, аварийной, местной вентиляции, пневмотранспорта, аспирации применяют воздуховоды из листовой стали.

Для металлических воздуховодов применяют черную, оцинкованную, коррозионно-стойкую стали, алюминий.

Материал для изготовления воздуховодов указывается в рабочей документации с учетом свойств перемещаемой воздушной среды в воздуховоде (температуры, влажности, наличия механических и других примесей) и свойств окружающей среды, в которой находится воздуховод в период эксплуатации.

Для участков сети воздуховодов систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления в пределах обслуживаемых помещений и явля-

ющихся элементами декора могут применяться и другие материалы (медь, сталь с покрытиями - никель и т.п., пластики и т.п.).

Классификация воздуховодов по форме поперечного сечения

Воздуховоды изготавливают круглой и прямоугольной формы.

Преимущественно следует выбирать круглую форму, как менее материалозатратную и аэродинамически более эффективную.

При выборе прямоугольного сечения соотношение сторон не должно превышать 1:4.

Допускается изготовление отдельных деталей с большим соотношением сторон для монтажа воздуховодов в узких местах. Переходы сечений должны быть учтены в аэродинамическом расчете как местное сопротивление.

Для участков сети воздуховодов систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления в пределах обслуживаемых помещений и являющихся элементами декора допускается изготовление других форм поперечного сечения (треугольные, шестигранные и т.п.). Такие участки сети требуют пересчета фактического и эквивалентного сечения при выполнении аэродинамического расчета сети.

Классификация воздуховодов по типоразмеру

Воздуховоды круглого сечения применяют следующих диаметров (мм): 100, 125, 160, 200, 250, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000.

Для технологических систем, систем аспирации и пневмотранспорта дополнительно применяют следующие диаметры (мм): 110, 140, 180, 225, 280.

В Приложении А представлены площади развернутой поверхности металла для 1 пог.м прямых участков круглых (таблица А.1) и прямоугольных (таблица А.2) воздуховодов и заглушек к ним.

Минимальным размером прямоугольных воздуховодов принят 100 100 мм.

Максимальным размером прямоугольных воздуховодов принят размер 2000 2000 мм.

Промежуточные размеры принимаются в указанном диапазоне плюс 50 мм на любую из сторон при соблюдении требований 4.2.3.

При стороне сечения более 400 мм следует конструктивно выполнять жесткости в виде перегибов (зигов) с шагом не более 500 мм по периметру воздуховода или диагональные перегибы (зиги). При стороне более 1500 мм и длине более 1250 мм, кроме того, нужно ставить наружные рамки жесткости или внутренние распорные шпильки с шагом не более 1250 мм.

При больших сечениях изготавливают панельные воздуховоды прямоугольного сечения с размером стороны сечения 2000, 2400, 3200 и 4000 мм из отдельных унифицированных панелей рамной конструкции.

Панели могут изготавливаться из листовой стали. Толщину листовой стали для панельных воздуховодов устанавливают при проектировании обычно в пределах 1,4-2 мм.

Классификация воздуховодов из листовой стали по толщине металла

Толщину листовой стали для воздуховодов, по которым перемещается воздух температурой не выше 80°C, следует принимать не менее:

а) для воздуховодов круглого сечения диаметром до 2000 мм (таблица 23);

Таблица 23 - Воздуховоды круглого сечения диаметром до 2000 мм

Диаметр, мм	Толщина листовой стали, мм
Не более 200	0,5
250-450	0,6
500-800	0,7
900-1250	1,0
1400-1600	1,2
1800-2000	1,4

б) для воздуховодов прямоугольного сечения, имеющих одну из сторон до 2000 мм (таблица 2);

Таблица 24 - Воздуховоды прямоугольного сечения, имеющие одну из сторон до 2000 мм

Размер стороны, мм	Толщина листовой стали, мм
Не более 250	0,5
300-1000	0,7
1000-2000	0,9

в) для сварных воздуховодов толщина стали определяется по условиям производства сварных работ.

Воздуховоды прямоугольного сечения, имеющие одну из сторон свыше 2000 мм, следует изготавливать каркасно-панельными.

Для воздуховодов, по которым предусматривается перемещение воздуха температурой более 80°С или воздуха с механическими примесями или абразивной пылью, толщину стали следует обосновывать расчетом, исходя из требований сохранения формы, прочности и срока эксплуатации.

Для воздуховодов с нормируемыми пределами огнестойкости толщину стали следует принимать согласно требованиям СП 7.13130.2013, таблиц 1 и 2.

Классификация воздуховодов по способу изготовления

Воздуховоды разделяют на прямые участки и фасонные изделия.

Прямые участки для прямошовных воздуховодов разделяют на стандартные и нестандартные. К стандартным относятся круглые и прямоугольные прямошовные детали, изготовленные без отходов с учетом раскроя листового металла. Для листов 2500 1250 мм стандартными принимают длины прямых участков: 1250 и 2500 мм. Для листов 2000 1000 мм: 1000 и 2000 мм.

Прямые участки спирально-навивных воздуховодов по длине изготавливаются 3000/4000 мм с учетом возможности транспортировки и удобства при монтаже. При оформлении заказа могут изготавливаться длиной до 12000 мм.

К фасонным деталям относятся: отводы 90°, 45°, 30°, 15°, переходы, прямые

участки с врезкой(ами) (тройник, крестовина), коробки с врезками (пленумы, адапторы), детали, изготовленные по эскизу (чертежу).

По способу изготовления воздуховоды подразделяются на фальцевые, сварные, панельные.

Воздуховоды, в которых возможно выпадение конденсата, следует изготавливать прямошовными с расположением шва в верхней части при монтаже в соответствии с СП 73.13330.2016.

Классификация воздуховодов по способу соединения

Для соединения деталей круглых воздуховодов систем вентиляции, кондиционирования воздуха, воздушного отопления, противодымной вентиляции, подпора воздуха применяют ниппельное/муфтовое, бандажное, фланцевое соединения.

Соединение в раструб допускается только для систем с естественной тягой.

Для соединения деталей прямоугольных воздуховодов применяют шину (большую/малую), фланцы.

Классификация по герметичности воздуховодов

Требуемая герметичность воздуховодов должна соответствовать требованиям СП 60.13330.2020 и СП 7.13130.2013.

Классификация по классам герметичности воздуховодов должна соответствовать требованиям СП 60.13330.2020.

Проверка на герметичность отдельных участков сети воздуховодов или системы в целом может производиться только после окончания монтажа с учетом утечек/подсосов через воздуховоды, элементы соединения деталей, сетевое оборудование. Проверка должна проводиться в соответствии с ГОСТ 34060.

Классификация по огнестойкости воздуховодов

Воздуховоды из горючих материалов (группа горючести не ниже Г1) могут применяться в пределах обслуживаемого помещения.

Воздуховоды из негорючих материалов следует применять в соответствии с требованиями СП 60.13330.2020.

Огнестойкие воздуховоды должны отвечать требованиям СП 7.13130.2013, СП 60.13330.2020, проектной документации и иметь подтверждение соответствия требованиям [1] в форме обязательной сертификации.

6 Воздухораспределительные устройства

6.1 Классификация воздухораспределительных устройств

В соответствии с международной классификацией, принятой в ГОСТ 32549 и ГОСТ Р ЕН 12238, по принципу организации воздухообмена ВР делятся на формирующие:

- турбулентные струи и обеспечивающие перемешивание приточного воздуха с воздухом помещения, - перемешивающая вентиляция;

- низкоскоростные ламинарные потоки в направлении рабочей зоны при $At_0 < 0^\circ$ (охлаждение), не смешивающиеся с воздухом помещения - вытесняющая вентиляция.

Приточные турбулентные струи, формируемые ВР, в зависимости от формы делятся на:

- компактные,
- веерные,
- конические смыкающиеся и несмыкающиеся,
- плоские.

ВР для перемешивающей вентиляции по виду формируемых приточных струй в соответствии с ГОСТ Р ЕН 12238 делятся на устройства, формирующие:

- компактные и конические смыкающиеся струи (трехмерные струи) - класс I;
- веерные и конические несмыкающиеся струи - класс II;
- плоские (двухмерные) струи - класс III.

По конструкции ВР для перемешивающей вентиляции делятся на следующие группы:

- решетки нерегулируемые и регулируемые;
- сопла;
- диффузоры нерегулируемые и регулируемые;
- щелевые устройства - с одним или несколькими элементами с соотношением сторон 10:1 или более для каждой щели;
- панельные.

Для постоянного поддержания требуемых параметров воздуха в рабочей зоне помещений следует применять ВР с регулированием направления или (и) дальности приточной струи.

Для обеспечения равномерности распределения скорости воздуха в выходном сечении ВР и для удобства монтажа рекомендуется использовать ВР с камерами статического давления (КСД)

- специальными коробами, размеры которых определяются заданной средней расчетной скоростью воздушного потока с учетом рекомендуемого расхода ВР.

Для распределения расходов воздуха по вентиляционной сети и обеспечения заданного L_0 через ВР рекомендуется применять ВР с встроенными регуляторами расхода или с КСД и регуляторами расхода.

ВР для вытесняющей вентиляции относятся к IV классу и по способу подачи воздуха делятся на (приложение Б):

- тип 1 - устройства с горизонтальной подачей воздуха.
- тип 2 - напольные устройства с вертикальной подачей воздуха.

По конструкции ВР для вытесняющей вентиляции делятся на следующие группы:

- цилиндрические (круглые, полукруглые - пристенные, угловые);
- плоские (пристенные, встраиваемые в стену);
- устанавливаемые в пол или на ступенях пола в помещениях-амфитеатрах.

Для распределения расходов воздуха по вентиляционной сети и обеспечения заданного L_0 через ВР рекомендуется применять ВР с регуляторами расхода.

Схемы подачи приточного воздуха ВР зависят от вектора скорости на истечении струи и места их установки.

Наиболее характерные схемы подачи для всех классов ВР приведены в приложении Б.

ВР должно однозначно идентифицироваться по:

- полному наименованию изделия,
- сокращенному наименованию (аббревиатуре),
- типоразмеру АхВ (ΘА).

Конструктивные характеристики ВР:

- конструктивная схема (эскиз) с указанием основных размеров согласно конструкторской

документации:

- размеры вентиляционного проема для подсоединения,
- габаритные размеры,
- размеры для крепления,
- положение регулирующих элементов а, б,
- для ВР с регулированием направления или (и) дальноточности приточной струи.

Пример - Конструктивная схема ВР - диффузора веерного представлена на рисунке 3.

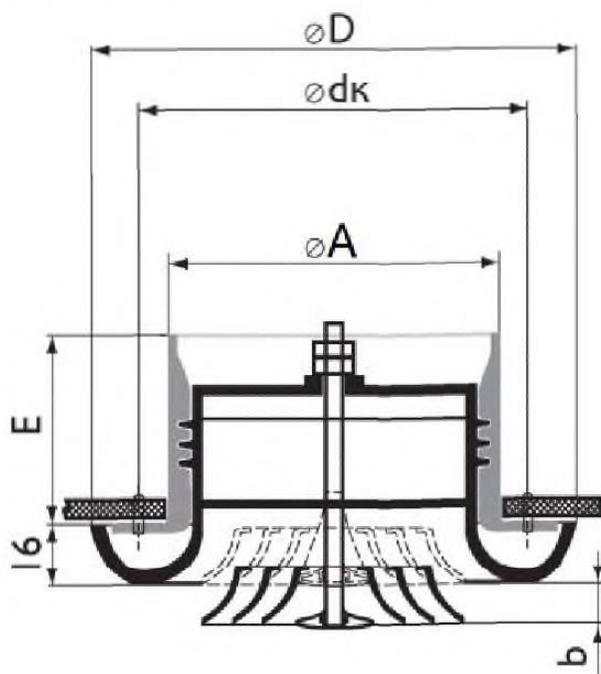


Рисунок 3 - Конструктивная схема диффузора веерного

Каждый тип ВР, как правило, имеет ряд типоразмеров, поэтому конструктивные характеристики следует представлять в табличном виде для всего типоразмерного ряда, включая площадь расчетного сечения F_0 и массу изделия.

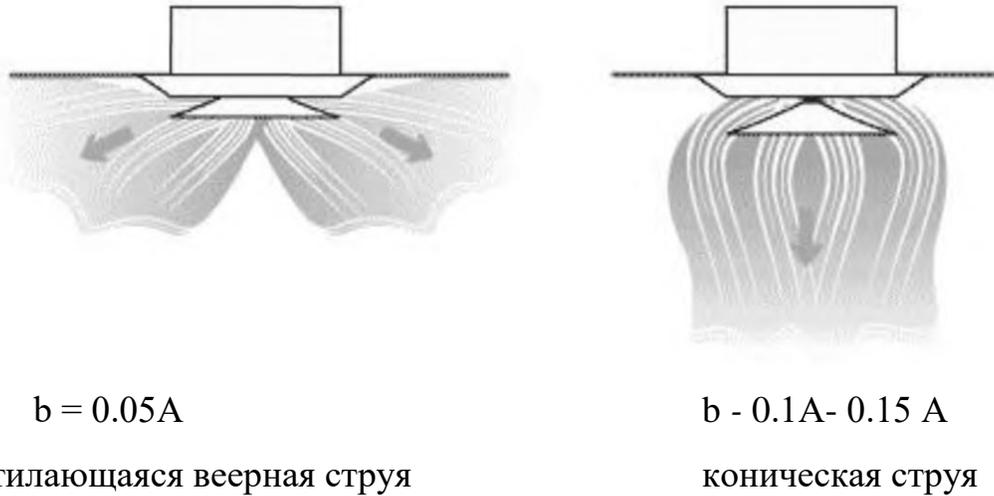
Пример - Конструктивные характеристики диффузора веерного представлены в таблице 25.

Таблица 25 - Конструктивные характеристики диффузора веерного

ØА. мм	ØD. мм	Е. мм	Ød. мм	$F_0. м^2$	Масса ив более, кг
125	170	55	150	0.011	0.25
160	215	60	190	0.016	0.35
200	258	60	230	0.029	0.45
250	308	60	280	0.046	0.66

Виды формируемых струй для различных классов ВР и возможные схемы подачи воздуха согласно приложению А.

Пример - Виды формируемой струи для регулируемого ВР (диффузора веерного) показаны на рисунке 4.



$$b = 0.05A$$

настилаящая веерная струя

$$b = 0.1A - 0.15A$$

коническая струя

Рисунок 4 - Схемы струй, формируемых диффузором

Аэродинамические характеристики:

- площадь «живого» сечения $F_{жс}$ или коэффициент «живого» сечения $K_{жс}$ ВР;
- рекомендуемые расходы приточного или (и) удаляемого воздуха L_0 .
- дальнобойность приточной струи l ($l_{0.2}$, $l_{0.5}$ и др.) при рекомендуемых расходах приточного воздуха и положениях регулирующих элементов a , b ;
- потери полного давления АРП при рекомендуемых расходах приточного или (и) удаляемого воздуха L_0 и положениях регулирующих элементов a , b .

Акустические характеристики:

- уровень звуковой мощности L_{wA} , генерируемой ВР при рекомендуемых расходах и положениях регулирующих элементов a , b , приведенный по фильтру A ;
- уровень звуковой мощности в октавных полосах частот L_w .

Перечисленные характеристики определяются и гарантируются производителем ВР по результатам приемочных испытаний опытных образцов для решения вопроса о целесообразности постановки этой продукции на производство и использования по назначению согласно ГОСТ 15.001.

Испытания должны проводиться на аттестованных аэродинамическом и акустическом стендах, в том числе в соответствии с ГОСТ 12.3.018, ГОСТ 32549, ГОСТ Р ЕН 12238, ГОСТ 31338, ГОСТ Р 52987.

Характеристики ВР представляют в технической документации на изделие в графическом или (и) табличном виде.

Примечание - Для ВР с регулированием направления или (и) дальности приточной струи характеристики приводят для каждого рекомендованного положения регулирующего элемента а, б

Пример - Графическое представление аэродинамических и акустических характеристик ВР (диффузора веерного) показано на рисунке 5.

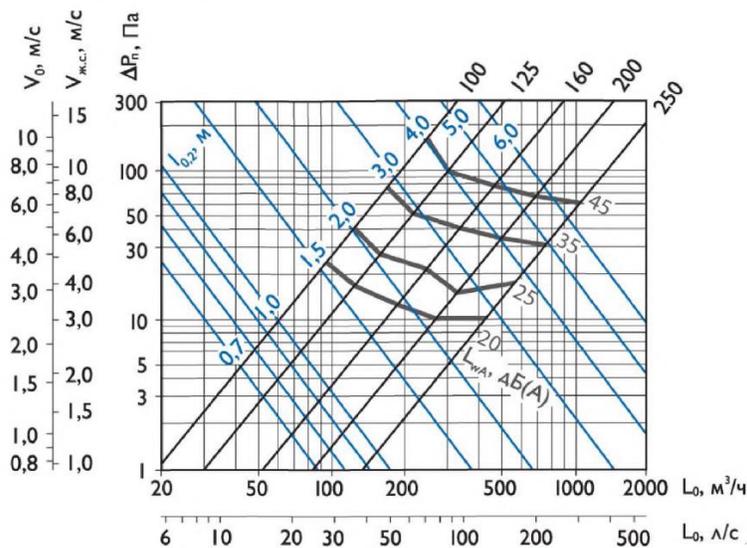


Рисунок 5 - Аэродинамические и акустические характеристики диффузора веерного ($B = 0,05A$) при подаче воздуха в помещение настилающимися веерными струями

Пример - Представление характеристик ВР (диффузора веерного) показано в таблице 26.

Таблица 26 - Аэродинамические и акустические характеристики диффузора веерного при подаче воздуха в помещение

Типоразмер	F ₀ , м ²	b, мм	L _{WA} < 20 дБ(А)				L _{WA} = 25 дБ(А)				L _{WA} = 35 дБ(А)				L _{WA} = 45 дБ(А)				
			L ₀ , ΔP, м ³ /ч Па		Дальность струи, м		L ₀ , ΔP, м ³ /ч Па		Дальность струи, м		L ₀ , ΔP, м ³ /ч Па		Дальность струи, м		L ₀ , ΔP, м ³ /ч Па		Дальность струи, м		
			l _{0,2}	l _{0,5}	l _{0,2}	l _{0,5}	l _{0,2}	l _{0,5}	l _{0,2}	l _{0,5}	l _{0,7}	l _{0,2}	l _{0,5}	l _{0,7}					
Горизонтальная настиляющая веерная струя b = 0,05λ																			
100	0,007	5	100	26	1,6	0,7	130	43	2,1	0,8	190	92	3,1	1,2	0,8	260	172	1,7	1,1
125	0,011	6	130	17	1,7	0,7	160	26	2,1	0,8	220	50	2,9	1,1	0,8	300	93	1,6	1,0
160	0,018	8	180	13	1,8	0,7	240	22	2,4	1,0	330	42	3,3	1,3	0,9	480	89	1,9	1,3
200	0,029	10	250	9	2,0	0,8	330	16	2,6	1,1	500	37	4,0	1,6	1,1	700	73	2,2	1,5
250	0,046	12,5	350	7	2,2	0,9	500	15	3,2	1,3	750	33	4,8	1,9	1,3	1000	59	2,5	1,7

Аэродинамические характеристики ВР могут быть представлены безразмерными коэффициентами ζ т и п , полученными по результатам аэродинамических испытаний:

- коэффициент потерь давления

$$\zeta = \frac{\Delta P_{\Pi}}{P_{дин}}, \quad (9)$$

- скоростной коэффициент, рассчитанный по скорости в расчетном сечении

$$m = \frac{V_X}{V_0} \cdot \frac{X}{\sqrt{F_0}}, \quad (10)$$

Температурный коэффициент ВР допускается определять расчетом по формулам:

- класса I, формирующих компактные и конические смыкающиеся струи:

$$n = 0,85 \cdot m, \quad (11)$$

- устройств классов II и III, формирующих плоские и веерные струи,

$$n = 0,92 \cdot m, \quad (12)$$

На ВР могут представляться следующие дополнительные характеристики:

- потери звуковой мощности при прохождении воздуха через ВР с учетом отражения от открытого конца ЛЦ

- показатель направленности звукоизлучения D ,

Акустические характеристики ΔL и D , определяются в ходе приемочных испытаний опытных образцов для решения вопроса о целесообразности постановки этой продукции на производство и использования по назначению в соответствии с ГОСТ 28100 и ГОСТ Р 52987.

6.2 Технические требования

Условные обозначения ВР, которые однозначно идентифицируют конкретное изделие, устанавливает предприятие-изготовитель в технической документации на него.

ВР должны соответствовать требованиям настоящего стандарта, техническим условиям (ТУ), конструкторской и технологической документации на конкретные изделия, утвержденным в установленном порядке на предприятии-изготовителе.

Предельные отклонения размеров ВР определяются предприятием-изготовителем и должны соответствовать требованиям ГОСТ 25346 и ГОСТ 30893.1.

ВР должны сохранять работоспособность в климатических условиях по ГОСТ 15150 в соответствии с районом их использования.

Конструктивные характеристики ВР должны обеспечивать подсоединение к

воздуховоду вентиляционной системы номинальных размеров согласно ГОСТ 24751 и [1].

В конструкции ВР предусматривают способы их крепления к воздуховоду или к строительным конструкциям, обеспечивающие надежность при эксплуатации.

Для ВР с регулирующими элементами конструкция должна обеспечивать свободное перемещение (поворот) регулирующих элементов в пределах рекомендуемых положений а, б и фиксацию в требуемом положении в зависимости от условий эксплуатации.

Соединения отдельных деталей (стыковочные швы) в панельных ВР с камерами статического давления не должны допускать утечек приточного воздуха.

Материалы и комплектующие изделия, применяемые в конструкции ВР, должны удовлетворять требованиям действующих стандартов и [1].

Защитно-декоративные лакокрасочные покрытия наружных поверхностей ВР должны соответствовать условиям эксплуатации, а также ГОСТ 9.032 и ГОСТ 23852.

На каждое ВР должна быть нанесена маркировка, содержащая обозначение изделия согласно комплекту конструкторских документов и наименование или (и) товарный знак предприятия-изготовителя. Дополнительные маркировочные данные могут быть нанесены на упаковку и (или) приведены в руководстве (инструкции) по эксплуатации, прилагаемой к ВР.

Маркировка должна быть четкой, видимой, прочной и сохраняться в течение ожидаемого срока эксплуатации ВР.

Ответственность за выбор материала, метода и места размещения маркировки несет предприятие-изготовитель.

В соответствии со сложностью изделия используются различные виды эксплуатационных документов, определяемые предприятием-изготовителем согласно ГОСТ 2.601.

Наиболее полную информацию о ВР с характеристиками, содержат каталоги

продукции предприятий-изготовителей, которые выпускаются в печатном и (или) электронном виде, или руководства (инструкции) по эксплуатации на изделие. Информация также может содержаться на официальных сайтах предприятий-изготовителей.

ВР должны поставляться в таре, исключаяющей их механическое повреждение при транспортировании и хранении.

Разработка чертежей тары проводится заводом-изготовителем в соответствии с ГОСТ 23170 и комплектом конструкторских документов, утвержденных в установленном порядке.

Каждая транспортная тара должна иметь транспортную маркировку, нанесенную непосредственно на тару или ярлык с указанием манипуляционных знаков «Хрупкое», «Рядность», «Беречь от влаги», «Верх» и других в соответствии с ГОСТ 14192.

Сопроводительную документацию упаковывают согласно ГОСТ 14192 и помещают вместе с изделием (или партией изделий) в тару способом, установленным предприятием-изготовителем.

ВР должны подвергаться приемочным и приемо-сдаточным испытаниям на соответствие требованиям настоящего стандарта и комплекта конструкторских и технологических документов на изделие. Приемочным испытаниям подвергают опытные образцы ВР для принятия решения о целесообразности постановки на производство и применения по назначению. Приемо-сдаточные испытания проводятся в процессе изготовления серийных образцов.

Программа приемочных испытаний предусматривает определение аэродинамических и акустических характеристик (5.5.6, 5.10).

Программа приемо-сдаточных испытаний должна включать контроль присоединительных, установочных и габаритных размеров, проверку комплектности и качества внешнего вида, контроль маркировки и упаковки.

Для регулируемых изделий дополнительно проверяют диапазон поворота α или продольного перемещения b регулирующего элемента и их фиксацию.

Приемо-сдаточным испытаниям в зависимости от размера партии подвергаются или каждый ВР, или то их количество, результаты испытаний которых можно распространить на все остальные ВР с определенной степенью достоверности, но не менее трех изделий из партии.

Проверка конструктивных характеристик ВР проводится измерительной линейкой по ГОСТ 427, штангенциркулем по ГОСТ 166, отклонение от плоскостности плоских поверхностей ВР щупом на поверочной плите по ГОСТ 10905.

Проверку правильной комплектности, маркировки и упаковки выполняют визуальным внешним осмотром.

Качество ВР по показателям внешнего вида определяют визуально на соответствие комплекту конструкторских документов или образцу-эталону, утвержденному на предприятии-изготовителе.

ВР можно транспортировать всеми видами транспорта.

При транспортировании и хранении должны выполняться требования ГОСТ Р 52298.

При транспортировании и хранении ВР защищают от механических повреждений и загрязнений.

Условия транспортирования ВР при воздействии механических факторов и хранения при воздействии климатических факторов внешней среды определяются предприятием-изготовителем в комплекте конструкторских документов на изделие в соответствии ГОСТ 23170 и ГОСТ 15150.

Погрузочно-разгрузочные работы проводят согласно требований безопасности по ГОСТ 12.3.009.

При хранении ВР пожарная безопасность должна быть обеспечена в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004.

Монтажи эксплуатация ВР выполняются согласно требованиям ГОСТ 12.4.021 и руководства (инструкции) по эксплуатации.

В руководстве (инструкции) по эксплуатации должны быть указаны меры

безопасности при работе и обслуживании ВР, а также требования к помещениям, где эксплуатируются ВР.

Локальная скорость V_x и разность температур Δt_x воздуха на оси струи при входе ее в рабочую зону не должны превышать значений, приведенных в ГОСТ 12.1.005, ГОСТ 30494 и [1].

Уровни шума, создаваемые ВР на рабочем месте, не должны превышать значений, приведенных в ГОСТ 12.1.003.

Срок службы ВР устанавливается изготовителем.

Изготовитель должен гарантировать соответствие ВР требованиям настоящего стандарта, комплекта конструкторских документов на изделие при соблюдении потребителем условий транспортирования, хранения, монтажа и эксплуатации.

Материалы и защитно-декоративное покрытие ВР должны быть безопасными для потребителей - не выделять вредных веществ при эксплуатации.

По пожарной безопасности ВР должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.004.

7 Расчет и проектирование

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха в чистых помещениях выполняют:

- подачу требуемого количества наружного воздуха по санитарным нормам для дыхания человека;
- удаление вредных веществ;
- обеспечение требуемых параметров микроклимата;
- поддержание положительного или отрицательного давления воздуха в помещении;
- обеспечение заданной чистоты воздуха (класса чистоты).

Специфическими функциями чистых помещений, определяющими особен-

ности построения систем вентиляции и кондиционирования, являются обеспечение заданной чистоты воздуха (класса чистого помещения или чистой зоны), поддержание перепада давления воздуха и заданного времени восстановления (при необходимости).

Системы вентиляции и кондиционирования чистых помещений должны обеспечивать:

- подачу требуемого количества наружного воздуха по санитарным нормам;
- удаление вредных веществ, выделяемых в воздух помещения (местные вытяжки);
- поддержание перепадов давления воздуха;
- поддержание заданных параметров микроклимата (температура и влажность воздуха) и удаление избытков тепла;
- поддержание заданного класса чистоты.

При проектировании следует оценить требуемый расход воздуха (кратность воздухообмена) для каждого из этих факторов. Проектная кратность воздухообмена для каждого помещения выбирается по наихудшему (наибольшему) значению.

Если какой-либо фактор требует большей кратности воздухообмена, чем обеспечение чистоты воздуха, то следует принять меры, позволяющие снизить необходимую кратность для этого фактора.

Примечания

1 На рисунке 1 штриховыми линиями показаны кратности, превышающие значение для обеспечения чистоты. Если это имеет место для местных вытяжек (местных отсосов), то следует рассмотреть целесообразность применения закрытых систем или иных решений для уменьшения объема вытяжного воздуха.

2 Значительные избытки теплоты и влаги, которые приводят к превышению расхода приточного воздуха по сравнению с необходимым для поддержания заданного класса чистоты, следует удалять местными средствами, встроенными в оборудование, а не за счет системы вентиляции и кондиционирования.

При проектировании, испытаниях и эксплуатации систем вентиляции и кондиционирования следует принимать меры по экономии энергии по ГОСТ Р 56190-2014, учитывая высокий расход воздуха в чистых помещениях.

Минимальный расход наружного воздуха для дыхания людей в каждое помещение с постоянным пребыванием персонала (более двух часов) должно подаваться достаточное количество наружного воздуха, не ниже установленного строительными и санитарными нормами.

7.1 Удаление вредных веществ

Для удаления содержащихся в воздухе вредных веществ предусматриваются местные вытяжки (местные отсосы).

Для компенсации работы вытяжных установок следует предусмотреть необходимый расход приточного воздуха, который должен быть не менее суммарного расхода воздуха от всех вытяжных установок, если допускается их одновременная работа, либо суммарного расхода воздуха при работе вытяжных установок с наибольшим расходом воздуха.

Кратность воздухообмена, необходимая для компенсации вытяжек, определяется как частное от деления суммарного расхода вытяжного воздуха для данного помещения на объем помещения.

Удаление воздуха из помещения должно компенсироваться поступлением приточного воздуха.

7.2 Обеспечение микроклимата

Следует предусмотреть регулирование температуры и влажности воздуха (при необходимости) с учетом избытков теплоты и влаги, которые выделяются технологическим оборудованием и персоналом.

Параметры микроклимата задаются санитарными нормами и требованиями технологического процесса. При расчете системы вентиляции и кондиционирования воздуха следует учитывать требования экономии энергии. Не допускается устанавливать необоснованно жесткие требования к пределам регулирования температуры и влажности воздуха внутри чистых помещений сверх требований нормативных документов и технологического процесса.

Отдельные технологические процессы (например, фотолитография в производстве микросхем) предъявляют жесткие требования к температуре и влажности воздуха и допустимым пределам их изменения. Жесткие требования к верхнему и/или нижнему пределам регулирования параметров микроклимата предъявляются и к работе с порошками и капсулами в производстве лекарственных средств, что помимо регулирования температуры требует осушения или увлажнения воздуха.

Перепад давления между различными помещениями вызывает эксфильтрацию (утечку) воздуха из помещения через щели в притворах дверей и разного рода неплотности. Величина утечки должна быть рассчитана для каждого помещения и учтена в балансе воздухообмена.

Утечка воздуха должна быть компенсирована равным количеством приточного воздуха. В балансе воздухообмена должна учитываться и инфильтрация воздуха, т.е. поступление воздуха из соседних помещений.

Количество воздуха, проходящего через дверную щель (м³/ч), определяется по формуле

$$Lg = Fg \cdot \Sigma \varepsilon \cdot \sqrt{\Delta P} \cdot 3600 \quad (13)$$

где Fg - площадь щели, м² ;

ΔP - перепад давления, Па;

$\Sigma \varepsilon = 0,85$ - коэффициент местного сопротивления дверных щелей;

3600 - число секунд в одном часе.

7.3 Обеспечение заданной чистоты воздуха

Требования к однонаправленному потоку воздуха установлены ГОСТ Р ИСО 14644-4.

Однонаправленный поток воздуха создается, как правило, в автономных зонах, работающих по принципу рециркуляции воздуха. Рециркуляция воздуха может быть организована как внутри самого помещения (местная рециркуляция), так и с помощью вентиляционной установки за пределами помещения.

Основными параметрами зоны с однонаправленным потоком воздуха являются:

- направление потока (вертикальный или горизонтальный);
- скорость потока воздуха;
- класс чистоты (5 ИСО в эксплуатируемом состоянии, 4 ИСО - 1 ИСО);
- тип фильтров;
- размеры зоны;

Примечание - Технические решения по обеспечению класса 5 ИСО зависят от состояния чистого помещения (чистой зоны), для которых класс чистоты задан:

- в оснащем состоянии класс 5 ИСО может быть обеспечен неоднаправленным потоком воздуха (примером служат зоны В по ГОСТ Р 52249);
- в эксплуатируемом состоянии для обеспечения класса 5 ИСО однонаправленный поток обязателен.

Не допускается нахождение какого-либо предмета между источником воздуха (фильтром) и рабочей поверхностью во время использования зоны по назначению. Это следует иметь в виду при выборе направления потока воздуха, расстояния между фильтрами и рабочей поверхностью и при организации рабочего места.

Расстояние между фильтрами и рабочей поверхностью не должно быть необоснованно большим.

Там, где это возможно, предусматриваются гибкие занавеси или щитки, ограничивающие зону и начинающиеся от границы фильтров.

Высота проема от пола до нижней кромки занавеси (щитка) должна быть такой, чтобы скорость потока воздуха в проеме была более 0,2 м/с (ГОСТ Р ИСО 14644-4).

Примечание - Это требование не всегда выполнимо по условиям применения (технологии) зоны с однонаправленным потоком, например, операционных.

Класс чистоты обеспечивается за счет:

- многоступенчатой фильтрации воздуха;
- выбора фильтров соответствующих классов (таблица 1);
- кратности воздухообмена.

Кратность воздухообмена задает расход воздуха для чистых помещений классов 6 ИСО - 9 ИСО и класса 5 ИСО (оснащенное состояние). Существует два подхода к определению кратности воздухообмена для обеспечения чистоты:

- применение рекомендаций, стандартов и правил;
- расчетный метод.

Методы расчета кратности воздухообмена (расхода воздуха) для обеспечения заданной чистоты воздуха приведены в приложении С.

7.4 Выбор фильтров очистки воздуха

Для чистых помещений предусматривается многоступенчатая фильтрация воздуха.

Рекомендуемые классы фильтров для различных классов чистоты и ступеней фильтрации показаны в таблице 1.

Для увеличения срока службы фильтров тонкой очистки (класс F), защиты от насекомых и в других случаях рекомендуется устанавливать на входе кондиционера фильтры классов M5 или M6.

Последний (финишный) фильтр устанавливается, как правило, в потолке (стене), образующем контур чистого помещения. Для областей применения, тре-

бующих контроля микробиологической чистоты воздуха (производство лекарственных средств, лечебные учреждения, контрольные лаборатории и др.), это требование является обязательным.

При установке финишных фильтров на входе камеры статического давления, выходе кондиционера и других местах воздуховод до контура чистого помещения или камера статического давления должны быть выполнены из материала, не выделяющего частиц, например, нержавеющей стали.

Таблица 26 - Рекомендуемые классы фильтров для различных классов чистоты и ступеней фильтрации

Класс чистоты	Вид потока воздуха*	Классы фильтров
4 ИСО	О	(F7+F9)+U15**
5 ИСО (эксплуатируемое состояние)	О	(F7+F9)+H14**
5 ИСО (оснащенное состояние)	О и Н	F7+F9+H14
6 ИСО	Н	F7+F9+H13
7 ИСО	Н	F7+F9+E12
8 ИСО	Н	F7+F9+E11

* Н - неоднаправленный поток воздуха; О - однаправленный поток воздуха.

** Чистые зоны классов 4 ИСО и 5 ИСО могут выполняться в виде автономных установок с финишными фильтрами U15 и H14 соответственно.

Примечание - Чистые зоны классов 1 ИСО - 3 ИСО устанавливаются, как правило, в чистых помещениях и воздух в них попадает через фильтры, встроенные в оборудование и чистую зону (U16 для 3 ИСО, U17 для 1 ИСО и 2 ИСО).

7.5 Принципиальная схема вентиляции и кондиционирования

Принципиальная схема вентиляции и кондиционирования воздуха (приложение В) включает:

- схематичное представление помещений с нанесением основных воздуховодов в одну линию;

- схемы кондиционеров и вытяжных установок с указанием подводимых сред и их основных параметров;

- температуру и влажность с указанием помещения, по которому они регулируются;

- значения расходов воздуха (наружный, приточный, вытяжной, удаляемый, рециркуляционный), а также расходов воздуха за счет инфильтрации и эксфильтрации;

- классы чистоты помещений;

- перепады давления;

- фильтры очистки воздуха с указанием типов;

- клапаны регулирования давления и противопожарные, устанавливаемые в воздуховодах;

- другую необходимую информацию.

В принципиальной схеме расходы воздуха должны соответствовать таблице балансов воздухообмена.

Для каждого помещения должен быть обеспечен баланс воздухообмена, т.е. равенство приточного воздуха (с учетом инфильтрации) и воздуха, удаляемого из помещения (местная и общеобменная вытяжка, эксфильтрация воздуха). Результаты расчетов оформляют в виде таблицы и наносят на принципиальную схему вентиляции и кондиционирования воздуха (приложение В).

Указанные выше типы потоков воздуха следует определять для каждого помещения и системы в целом. На основе этого рассчитывается баланс воздухообмена, результаты которого оформляются в виде таблицы и наносятся на принципиальную схему вентиляции и кондиционирования воздуха (приложение А).

Регулирование баланса воздухообмена осуществляется с помощью клапанов (регуляторов потока воздуха), устанавливаемых на притоке и/или вытяжке.

7.6 Расчет расходов воздуха в чистых помещениях

Расчет расхода наружного воздуха

Расход наружного воздуха рассчитывается из необходимости:

- выполнения санитарно-гигиенических норм;
- компенсации удаляемого воздуха (как из отдельных помещений за счет работы вытяжных установок, так и удаляемого через систему кондиционирования);
- компенсации утечек из-за разности давления в чистых помещениях и окружающей среде.

Расход наружного воздуха для всей системы вентиляции равен сумме расходов воздуха для каждого помещения.

Расход воздуха для отдельного помещения равен сумме объемов воздуха, удаляемого местными вытяжными установками и потерь из-за утечек.

Расчет приточного воздуха для каждого помещения

Приточный воздух выполняет следующие функции:

- обеспечение требуемого класса чистоты;
- обеспечение требований по микробиологической чистоте воздуха там, где они предъявляются;
- подачу требуемого количества наружного воздуха;
- удаление избытков теплоты и влаги и поддержание требуемых параметров микроклимата в помещении;
- компенсацию утечек воздуха из-за перепадов давления.

При определении расхода приточного воздуха (кратности воздухообмена) следует учесть:

- время восстановления класса чистоты после внесения загрязнений в чистое помещение (если требуется);
- параметры микроклимата (температуру и относительную влажность воздуха, скорость движения воздуха);

- требуемый расход наружного воздуха по санитарно-гигиеническим нормам;
- удаление вредных веществ, образующихся в ходе технологического процесса;

- требуемую скорость воздушного потока в зонах с однонаправленным потоком воздуха (в случае, если он решается за счет системы вентиляции, а не при помощи автономных установок).

Эти требования должны выполняться для каждого чистого помещения.

Реализация требований к системам вентиляции и кондиционирования может быть выполнена разными средствами исходя из назначения чистого помещения и условий экономии энергии.

В чистых помещениях могут применяться следующие типы систем вентиляции и кондиционирования:

- прямоточная;
- прямоточная с рекуперацией тепла;
- с рециркуляцией воздуха;
- двухуровневая;
- с локальными зонами.

Исходя из конкретных условий, могут применяться и другие системы с учетом капитальных и эксплуатационных затрат.

Локальные установки очистки воздуха могут размещаться как в самом помещении, так и за его пределами. В состав локальной установки, как правило, входят вентилятор, HEPA (EPA или ULPA) фильтры. При необходимости предусматриваются фильтры для удаления запахов и химические фильтры.

Наиболее распространенные схемы вентиляции и кондиционирования приведены в приложении В.

7.7 Проектирование систем вентиляции и кондиционирования

Задание на проектирование и задание, выдаваемое разработчиком технологического раздела проекта, должны содержать основные исходные данные для разработки проекта системы вентиляции и кондиционирования воздуха чистых помещений:

- а) планы и разрезы помещений и здания с нанесением локальных чистых зон;
- б) экспликация помещений с указанием классов чистоты (ГОСТ ИСО 14644-1) или типов зон (ГОСТ Р 52249, приложение 1);
- в) категории помещений по взрывопожароопасности;
- г) выделение вредных веществ;
- д) выделение тепла и влаги от оборудования;
- е) численность персонала;
- ж) характеристика климата района строительства;
- и) назначение чистых помещений и/или чистых зон, исходя из того, что требуется защищать:
 - процесс,
 - человека и окружающую среду от процесса,
 - и то, и другое.

Данные о назначении чистого помещения необходимы для правильной организации перепадов давления (положительное, отрицательное) и направления движения воздушных потоков.

Принципиальные решения (концепция проекта, предпроектная документация) разрабатываются в сложных случаях, в частности:

- если предусмотрена разработка принципиальных технологических решений до разработки проектной документации;
- когда структура системы не очевидна и требуется разработка различных вариантов, например, оценка целесообразности применения открытых или закрытых (изолирующих) технологий;

- когда трудозатраты на разработку проектной документации велики (большие и/или сложные объекты) и возможны экономия времени и средств путем выделения этапа разработки принципиальных решений и согласования их с заказчиком.

Проектная документация (стадия П)

В состав документации входят пояснительная записка и графические материалы.

Пояснительная записка включает в себя:

- исходные данные;
- данные об источниках и носителях теплоснабжения, холодоснабжения, пара;
- описание систем отопления;
- описание систем вентиляции и кондиционирования с указанием типов фильтров, перепадов давления, изоляции воздухопроводов и других характеристик;
- данные о расходах электроэнергии, тепла, холода и пара в зимний и летний периоды;
- данные о резервировании оборудования;
- обоснование кратностей воздухообмена;
- i-d диаграммы температуры и влагосодержания воздуха;
- описание систем дымоудаления;
- требования к автоматизации вентиляции и кондиционирования;
- описание воздушно-тепловых завес (при необходимости);
- мероприятия по технике безопасности и охране труда;
- мероприятия по энергосбережению;
- другие материалы.

Графические материалы включают в себя:

- принципиальные схемы и характеристику систем вентиляции и кондиционирования;
- принципиальные схемы и характеристику систем отопления;
- принципиальные схемы и характеристику систем холодоснабжения;

- принципиальные схемы и характеристику дымоудаления;
- таблицы местных вытяжек (местных отсосов);
- планы помещений с указанием перепадов давления и/или перетоков воздуха;
- спецификация основного оборудования вентиляции и кондиционирования;
- другие материалы.

Последовательность разработки проектных решений по вентиляции и кондиционированию показана в приложении В.

В состав рабочей документации входят:

- общие данные;
 - принципиальные схемы вентиляции и кондиционирования;
 - планы помещений с нанесением воздуховодов, клапанов, зонтов, канальных фильтров и другого оборудования;
- указываются сечения воздуховодов;
- планы вентиляционных камер с нанесением кондиционеров, вытяжных установок и другого оборудования;
 - планы кровли (при необходимости);
 - аксонометрические схемы для всех приточных и вытяжных систем;
 - схемы дымоудаления;
 - спецификации оборудования;
 - другие материалы исходя из особенностей объекта.

Данный перечень документов в проекте не является исчерпывающим.

Воздуховоды за пределами чистых помещений должны быть выполнены из коррозионно-стойких и не отслаивающихся материалов. Самым распространенным материалом для воздуховодов является сталь горячего цинкования. Толщина цинкового покрытия должна составлять не менее 40 мкм.

Материал вытяжных воздуховодов должен быть стойким к воздействию агрессивных веществ, содержащихся в вытяжном воздухе (при их наличии).

8 Примеры расчёта

8.1 Расчет вентиляции по коэффициенту кратности воздухообмена

Количество воздуха, подаваемого или удаляемого из помещения за 1 час, отнесенное к внутренней кубатуре помещения, называется **кратностью воздухообмена**.

Кратность воздухообмена рассчитывается по фактическому и допустимому содержанию вредных веществ

$$K = \frac{P_{\phi}}{P_{\text{пдк}}}, \quad (14)$$

где P_{ϕ} – фактическое содержание газов, пыли, паров в воздухе, мг/м³;

$P_{\text{пдк}}$ - предельно допускаемая концентрация этих веществ в воздухе (ПДК), мг/м³.

Зная кратность воздухообмена K , можно рассчитать необходимый воздухообмен по формуле (м²/ч)

$$L = K \cdot V, \quad (15)$$

где k – кратность воздухообмена;

L – объем подаваемого или удаляемого воздуха (воздухообмен), м³/ч;

V – внутренняя кубатура (объем) помещения, м³.

Значение кратностей воздухообмена приведены в таблице 1.

Пример 1. Определить необходимую производительность вентиляторов в медницком отделении ремонтной мастерской совхоза.

Площадь помещения 42 м², высота 4,5 м. Кратность воздухообмена в час $K = 4$.

Решение: Производительность вентиляции рассчитаем по формуле (15):

$$L = 4 (42 \cdot 4,5) = 756 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Таблица 27 – Кратность воздухообмена (К) для различных производственных помещений

Категория помещений	К	Категория помещений	К
Административные помещения	1,5	Отделение ремонта топливной аппаратуры Столярное отделение	1,5-2
Моторно-ремонтное отделение Машинное и аппаратное отделение Аммиачные холодильные установки Столярные мастерские	1,5-3	Станочное Моечное отделения Отделение испытания двигателей Склад хранения муки Тесторазделочное отделение	2-3
Фреоновые холодильные установки Цех убоя и разделки туш Залы заседаний	3	Медницкое отделение Пивобезалкогольное производство Консервный цех Маслоцех Творожный цех	3-4
Животноводческие фермы	2-4	Цех приготовления кормов	5
Сварочное отделение Кузнечный цех Колбасный цех Бродильный цех	4-6	Пекарный зал Курительные комнаты Топочное отделение Окрасочное отделение Отделение зарядки аккумуляторов	10-12

8.2 Расчет вентиляции для снижения запыленности и загазованности помещения

Воздухообмен для удаления пыли и газов рассчитывается по формуле

$$L_{\Gamma} = \frac{P}{P_{\text{ПДК}} - P_n}, \quad (16)$$

где $L_{\text{п}}$ - воздухообмен, $\text{м}^3/\text{ч}$;

P - скорость поступления газов, пыли и паров в помещении, $\text{мг}/\text{ч}$;

$P_{\text{пдк}}$ - предельно допустимая концентрация газов, пыли и паров, $\text{мг}/\text{м}^3$;

$P_{\text{н}}$ – содержание вредных веществ в наружном (приточном) воздухе, $\text{мг}/\text{м}^3$ (можно принять $P_{\text{н}} \leq 0,3P_{\text{пдк}}$);

Таблица 28 - ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	ПДК $\text{мг}/\text{м}^3$	Класс опасности	Наименование вещества	ПДК $\text{мг}/\text{м}^3$	Класс опасности
Алюминий и его сплавы (в пересчете на алюминий)	2	3	Аммиак	20	4
Бензин топливный (в пересчете на углерод)	100	4	Бензин-растворитель, лигроин, минеральные масла (в пересчете на углерод)	300	4
Бензол	20	4	Окислы азота	5	3
Окись углерода	20	4	Керосин (в пересчете на углерод)	300	4
Кислота серная	1	2	Кислота соляная	5	3
Кислота борная	10	3	Сероводород	10	3
Хлор	1	2	Хлористый водород	5	3

Таблица 29 - Допустимая концентрация пыли в производственных помещениях

Род пыли	ПДК, $\text{мг}/\text{м}^3$	Класс опасности
Пыль цемента, глины, минералов, без двуокси кремния	6	3
Асбестовая пыль, пыль алюминия	2	3
Пыль стекломинерального волокна, табака, чая	3	3
Пыль искусственных абразивов (корунд, карборунд)	5	3
Пыль угольная, не содержащая двуокси кремния	10	4
Пыль растительного происхождения:		
- более 10% двуокси кремния (хлопковая, льняная);	2	3
- от 2 до 10% двуокси кремния (зерновая);	4	3
- менее 2% двуокси кремния (мучная, древесная)	6	3
Пыль, содержащая 70% двуокси кремния, пыль меди	1	2
Пыль свинца, ртути	0,01	1
Пыль металлическая, пыль чугуна сварочный аэрозоль	6	3

Скорость выделения вредных веществ *при окрасочных работах* $P_{окр}$ определяют по формуле

$$P_{окр} = G_{лк} \cdot S \cdot q / 100, \quad (4)$$

где $G_{лк}$ – расход лакокрасочных материалов, г/м²;

S – площадь окрашиваемой поверхности, м²;

q -доля летучих растворителей в краске, %,

($q = 60 \dots 90$ г/м²– при распылении; $q = 100 \dots 180$ г/м² – при нанесении кистью).

Таблица 30 - Допустимая концентрация вредных веществ в воздушной среде при окрасочных работах

Краска	Удельный расход краски, г/м ²	Растворитель	Количество растворителя, %	Допустимая концентрация, мг/м ³		
				по СН	для работы в респираторах	для взрывобезопасных сред
ВЛ-0,23	100	Этанол	38	1000/20	—	2450/1296
		Бутанол	18	10/9	—	2450/613
		Ацетон	18	200/9	300	2680/615
ХС-04	110	Бутилацетат	7,2	200/8	300/160	4030/318
		Ацетон	15,6	200/18	1000/380	2680/678
		Толуол	37,2	200/43	1000/478	2410/1610
ХС-76	150	Бутилацетат	50	200/69	1000/478	4030/2020
		Толуол	21	50/29	1000/202	2410/844
		Ацетон	10	200/14	300/96	2680/397
ПФ-218	100	Уайтспирит	36	300/270	1000/	2580/2223
		Скипидар	4	300/29,9	—	1810/247
ФЛ-03-К	90	Ксилол	18	50/43	1000/500	2180/1183
		Уайтспирит	18	300/43	1000/500	2580/1173

Скорость выделения оксида углерода $P_{со}$ *при работе двигателя* определяют по формуле

$$P_{co} = K \cdot G_T \cdot q / 100, \quad (18)$$

где K – количество отработанных газов при сгорании 1 кг топлива, кг/кг;

($K=15\dots16$ кг/кг);

G_T – часовой расход топлива, кг/ч;

q – содержание вредных веществ в отработанных газах, %.

Скорость выделения оксида углерода можно определить по формуле, зная удельный расход топлива

$$P_{co} = g \cdot n \cdot N \cdot \eta \cdot t \cdot K \cdot q, \quad (19)$$

где g – удельный расход топлива, г/л.с ч;

n – количество двигателей;

N – мощность двигателя, л.с;

η – к.п.д двигателя;

t – время работы двигателя, ч;

K – количество отработанных газов при сгорании 1 кг топлива, кг/кг;

($K=15\dots16$ кг/кг);

q – содержание вредных веществ в отработанных газах, %.

Скорость выделения вредных примесей *при сварке* $P_{св}$ рассчитывают по формуле:

$$P_{св} = q \cdot K_{св} \cdot G_э / 100, \quad (20)$$

где $K_{св}$ – содержание вредных компонентов на 1 кг электродов, г/кг (табл. 5);

$G_э$ – масса израсходованных электродов, кг;

q-содержание вредных компонентов, % (q = 3% - марганец, q= 0,4% - хром, q=3,4% - фтористые соединения).

Скорость выделения углекислого газа животными:

$$P_{co_2} = \sum_{i=1}^n m_i p_i, \quad (21)$$

где m – количество животных;

p – количество углекислоты, выделяемое одним животным (табл.6).

Таблица 31 – Содержание токсичных веществ в сварочных электродах

Токсичные вещества	Содержание токсичных веществ, г на 1 кг электрода марки						
	УОНИ 13/45	УОНИ 13/55	СМ - 11	К-5	ОЗС-2	К-70, К-80	ОММ-5, ЦМ-7
Марганец	8,8	14	12	17,2	20	16	67,2
Хром	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1
Фтористые соединения	49,5	38	47,5	60	52	26	-

Таблица 32 – Количество тепла, углекислоты и водяного пара, выделяемое животными

Группа животных	Масса животного, кг	Количество тепла, ккал/ч		Количество	
		общее	свободное	углекислоты, л/ч	водяных паров, г/ч
Коровы стельные (сухостойные)	300	604	440	90	288
	400	739	550	110	350
	600	926	670	138	440
Коровы лактирующие при уровне лактации 10 л	300	644	450	96	307
	400	765	550	114	367
	600	906	650	135	431
Коровы лактирующие при уровне лактации 30л	400	1174	850	175	560
	600	1342	970	200	642
	800	1509	1080	225	721

Продолжение таблицы 32

Телята до I месяца	30	100	72	15	47
	40	141	102	21	67
	50	174	124	26	83
Телята от I до 3 месяцев	40	147	106	22	70
	50	215	155	32	102
	100	282	204	42	135
Телята от 3 до 4 месяцев	90	248	178	37	118
	120	369	268	55	176
	150	82	276	57	183
Молодняк от 4 месяцев до I года	120	322	232	48	153
	180	476	349	71	227
	250	496	358	74	236
Молодняк от I года до 2 лет	220	483	350	72	230
	320	631	455	94	301
	350	651	476	97	310
Свиноматки холостые и супоросные до 2 месяцев	100	222	160	33	106
	150	256	185	38	121
	200	394	250	44	141
Свиноматки супоросные свыше 2 мес.	100	268	195	40	128
	150	308	220	46	188
	200	349	250	52	267
Свиноматки с приплодом 10 сосунов	100	530	280	79	252
	150	605	435	90	288
	200	698	503	104	238
Свиньи откормочные	100	288	208	43	137
	200	382	275	57	182
	300	503	365	75	240
Молодняк свиней: от 2 месяцев от 5 до 8 месяцев	15	100	72	15	47
	60	202	145	30	96
	80	235	170	35	112
Бараны	50	169	123	25	70
	80	222	160	33	93
	100	237	172	35	98
Холостые овцематки	40	125	90	19	52
	50	148	108	22	62
	60	185	134	28	73
Куры (молодняк) яичного направления	0,06	15,6	13,5	2,3	3,5
	0,25	12,7	8,8	2,2	6,6
	0,6	10,5	7,4	1,9	5,4
	1,3	9,7	6,8	1,7	5,0
	1,6	9,2	6,4	1,6	4,8
Куры взрослые: -напольное содержание -клеточное содержание	1,5-1,7	11,3	7,9	2,0	5,8
	1,5-1,7	9,8	6,8	1,2	5,1

Продолжение таблицы 32

	0,08	15,0	12,9	2,2	4,0
	0,25	11,8	8,1	2,0	6,3
Куры (молодняк) мясного направления	1,2-1,4	10,4	7,2	1,8	5,4
	1,8	9,6	6,7	1,7	5,0
	2,5	8,2	6,0	1,6	4,8
Бройлеры при клеточном содержании	1,3	9,4	7,5	1,7	4,9
Куры взрослые мясного направления	2,5-3,0	10,3	7,2	1,8	5,2
Индейки	6,8	9,6	6,7	1,7	5,0
Утки	3,5	6,9	4,8	1,2	3,6
Гуси	5,3-6,0	5,8	4,0	1,0	3,1
Примечание. 1 ккал/ч = 1,16 Вт					

Пример 2. В размолочном отделении кормоцеха выделяется в 1 ч 12 г мучной пыли. Рассчитать производительность вентиляции, необходимую для удаления излишков пыли.

Решение: Согласно таблице 27, допускаемая концентрация мучной пыли, содержащей до 10% свободной двуокиси кремния, равна 4 мг/м³.

В наружном воздухе, поступающем в помещение взамен отсасываемого вентилятором, совсем не содержится мучной пыли. Подставляя эти данные в формулу (16), получим

$$L_{\Gamma} = \frac{12000}{4-0} = 3000 \text{ м}^3/\text{ч},$$

Пример 3. В гараже совхоза площадью 750 м² и высотой 6 м размещается 30 автомобилей (ГАЗ-51 и ЗИЛ-150). В утренние часы одновременно заводят 5 двигателей автомобилей ГАЗ-51. Средняя продолжительность их работы до выезда машины из гаража 3 мин. В продуктах сгорания, образующихся при сжигании бензина в двигателе, содержится 5% окиси углерода.

Требуется определить концентрацию окиси углерода в помещении гаража и найти необходимую производительность вентилятора для удаления ее излишков.

Решение: Подсчитаем весовое количество продуктов сгорания бензина при работе двигателя без нагрузки. Для такого расчета можно допустить, что двигатель развивает мощность не более 0,15% номинальной.

Для автомобилей ГАЗ-51 нормальная мощность равна 70 л. с.

Удельный расход бензина составляет 420 г/л. с. ч.

Найдем количество окиси углерода, выделяющееся при работе 5 двигателей в час по формуле (19)

$$P_{CO} = 420 \cdot 5 \cdot 70 \cdot 0,15 \cdot (3/60) \cdot 15,9 \cdot 0,05 = 887,2 \text{ г/ч}$$

Производительность вентиляции найдем по формуле (3), а ПДК окиси углерода выберем из таблицы 28

$$L_{\Gamma} = \frac{887200}{20 - 0} = 44360 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

Можно рассчитать производительность вентиляции через кратность воздухообмена. Для этого определим фактическую концентрацию окиси углерода в помещении гаража, объем которого $V=4500 \text{ м}^3$

$$P_{\phi} = 887,2 \cdot 1000 / 4500 = 197 \text{ мг/м}^3;$$

Найдем по формуле (14) необходимую кратность воздухообмена

$$K = \frac{197}{20} = 9,85.$$

Производительность вентиляции найдем по формуле (15)

$$L = 9,85 \cdot 4500 = 44347 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Пример 4. В цехе ремонта топливной аппаратуры для производственной цели применяют бензин. Ежечасно 360 г этого бензина испаряется. Требуется рассчитать производительность вентилятора, необходимую для доведения концентрации паров бензина в помещении до допускаемой.

Решение: Применяя формулу (3) и считая, что $P_H=0$, $P_{ПДК} = 0,3 \text{ г/м}^3$, получим:

$$L_{\Gamma} = \frac{360}{0,3-0} = 1200 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Пример 5. В литейном цехе ($12 \times 8 \times 6 \text{ м}^3$) авторемонтного завода при разливке жидкого чугуна в 1 ч выделяется 80 г окиси углерода.

Рассчитать производительность вентиляторов, необходимую для поддержания в цехе атмосферы с нормальной концентрацией окиси углерода.

Решение: Без вентиляции концентрация окиси углерода в цехе будет равна:

$$P_{\phi} = 80000/(12 \times 8 \times 6) = 138 \text{ мг/м}^3.$$

В соответствии с санитарно-гигиеническими нормами предельно допустимая концентрация окиси углерода в литейных цехах равна 20 мг/м^3 .

Исходя из этого, определим необходимую кратность воздухообмена

$$K = 138/20 = 6,9$$

Минимальная производительность вентилятора

$$L = k \cdot V = (12 \cdot 8 \cdot 6) \cdot 6,9 = 3974 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

8.3 Расчет производительности вентиляции для удаления избытков тепла

В помещениях с большим выделением тепла вентиляцию устраивают для поддержания нормальной температуры.

Воздухообмен для удаления избыточного тепла определяется по формуле

$$L_Q = \frac{Q_{из}}{C(t_{вн} - t_n)\gamma_n}, \quad (22)$$

где L_Q - воздухообмен, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$Q_{из}$ - избыточное количество тепла, поступающего в помещение, $\text{кДж}/\text{ч}$;

C - средняя удельная теплоёмкость воздуха, принимается равной 1 $\text{кДж}/\text{кг град}$;

$t_{вн}$ - температура воздуха, удаляемого из помещения, $^{\circ}\text{C}$;

t_n - температура наружного воздуха, поступающего в помещение, $^{\circ}\text{C}$;

γ_n - плотность наружного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Пример 6. В термическом цехе авторемонтного завода установлены три электропечи. Каждая печь отдает в атмосферу цеха 4500 кал/ч тепла. Если нет вентиляции, то вследствие такого тепловыделения температура в цехе возрастет до $+26^{\circ}\text{C}$.

Нужно рассчитать производительность вентилятора, снижающего температуру воздуха в цехе, если наружный воздух нагрет до $+15^{\circ}\text{C}$.

Решение: На основании формулы (22) и таблицы 33 найдем:

$$L_Q = \frac{4500 \cdot 3}{0,24 \cdot (26 - 15) \cdot 1,226} = 4179 \text{ м}^3/\text{ч} = (4500 \cdot 3) / [0,24 \cdot (26 - 15) \cdot 1,226] = 4179 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Таблица 33 – Плотность воздуха при различных температурах и барометрическом давлении

Температура воздуха °С.	Плотность воздуха (кг/м ³) при различной температуре и барометрическом давлении (мм.рт.ст.)									
	725	730	735	740	745	750	755	760	765	770
-10	1,280	1,285	1,292	1,307	1,316	1,325	1,333	1,342	1,351	1,360
-8	1,271	1,280	1,288	1,257	1,306	1,315	1,323	1,332	1,341	1,350
-6	1,261	1,270	1,279	1,287	1,296	1,305	1,314	1,322	1,331	1,340
-4	1,252	1,261	1,269	1,278	1,286	1,295	1,304	1,313	1,321	1,330
-2	1,243	1,251	1,260	1,268	1,277	1,286	1,294	1,303	1,312	1,320
0	1,234	1,242	1,251	1,259	1,268	1,276	1,285	1,293	1,302	1,311
2	1,225	1,233	1,242	1,250	1,258	1,267	1,276	1,284	1,292	1,301
4	1,216	1,224	1,233	1,241	1,249	1,258	1,266	1,275	1,283	1,291
6	1,207	1,215	1,224	1,232	1,241	1,249	1,257	1,265	1,274	1,282
8	1,198	1,207	1,215	1,223	1,232	1,240	1,248	1,256	1,265	1,273
10	1,190	1,198	1,207	1,215	1,223	1,231	1,240	1,247	1,256	1,264
12	1,182	1,190	1,198	1,206	1,214	1,222	1,231	1,239	1,247	1,255
14	1,173	1,181	1,190	1,198	1,206	1,214	1,222	1,130	1,238	1,246
16	1,165	1,173	1,181	1,190	1,197	1,205	1,213	1,222	1,230	1,238
18	1,157	1,165	1,173	1,181	1,189	1,197	1,205	1,213	1,221	1,229
20	1,146	1,157	1,165	1,173	1,181	1,189	1,197	1,205	1,213	1,221

8.4 Расчет производительности вентиляции для удаления избытков влаги

Состояние воздуха характеризуется абсолютной и относительной влажностью.

Абсолютная влажность показывает, какое количество водяных паров в граммах содержится в 1 кг воздуха при заданной температуре.

Относительная влажность ϕ - это процентное отношение фактического содержания паров воды в воздухе к максимально возможному (насыщенному) содержанию при той же температуре.

Воздухообмен для удаления избытка водяных паров можно определить по формуле

$$L_G = \frac{G_{вп}}{(q_{вн} - q_n) \gamma_n}, \quad (23)$$

где L_G - воздухообмен, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$G_{вп}$ - масса водяных паров, выделяющихся в помещении, $\text{г}/\text{ч}$;

γ_n - плотность наружного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$q_{вн}$ - содержание паров в 1 кг воздуха в помещении при относительной влажности $\varphi_{в}$, соответствующей температуре помещения $t_{в}$, г;

q_n - содержание паров в 1 кг воздуха, подаваемого в помещение при его относительной влажности φ_n и температуре t_n , г.

Содержание паров в 1 кг воздуха при его температуре и влажности можно рассчитать по формулам:

$$q_{в} = \frac{\varphi_{в} \cdot q_m^{в}}{100}, \quad q_n = \frac{\varphi_n \cdot q_m^n}{100}, \quad (24)$$

где $\varphi_{в}$, φ_n – относительная влажность внутри и снаружи помещения, %;

$q_m^{в}$, q_m^n – максимально возможное количество водяных паров при заданной температуре внутри и снаружи помещения (табл. 8).

Таблица 34 – Максимально возможное содержание водяных паров

Температура, °С	Содержание водяного пара при полном насыщении, г/кг	Температура, °С	Содержание водяного пара при полном насыщении, г/кг
- 15	1,1	30	20,3
- 10	1,7	35	35,0

Продолжение таблицы 34

- 5	2,6	40	46,3
0	3,8	45	60,7
5	5,4	50	79,0
10	7,5	55	102,3
15	10,5	60	131,7
20	14,4	65	168,9
25	19,5	70	216,1

Пример 7. В моечном отделении ремонтного завода установлены две ванны для выварки загрязненных деталей. Из них ежечасно испаряется 20 кг воды.

Температура помещения $+22^{\circ}\text{C}$. Температура наружного воздуха $+15^{\circ}\text{C}$. При измерении влажности воздуха было найдено $\Phi_{\text{в}} = 75\%$, $\Phi_{\text{н}} = 40\%$.

Требуется рассчитать производительность вентиляции для удаления излишних паров воды.

Решение. Применяя формулы (23) и (24) и выбрав из таблицы 24 значения $q_{\text{м}}^{\text{в}}$, $q_{\text{м}}^{\text{н}}$, найдем

$$L_{\text{Г}} = \frac{20000}{((75/100) \cdot 16,4 - (40/100) \cdot 10,5)} \cdot 1,230 = 2470 \cdot \text{м}^3 / \text{ч}.$$

Пример 8. Подобрать производительность вентиляции для удаления излишней влаги из коровника, в котором размещены 80 лактирующих коров массой по 300 кг, 40 коров массой по 400 кг и 40 коров массой по 600 кг.

Внутренняя температура коровника $+10^{\circ}\text{C}$, наружная -5°C .

Решение. По таблице 31 находим количество водяных паров, выделяемых животными.

Коровы массой 300 кг выделяют $0,307 \cdot 80 = 24,56$ кг влаги в 1 ч;

массой 400 кг - $0,367 \cdot 40 = 14,68$ кг/ч

массой 600 кг - $0,431 \cdot 40 = 17,24$ кг/ч,

т. е. $G_{\text{вп}} = 56,48$ кг/ч.

В коровнике относительная влажность должна быть не более 85%. Примем относительную влажность наружного воздуха 40%.

По таблице 34 найдем максимальное содержание водяных паров при + 10° С и -5° С. Подставим полученные данные в формулу (23):

$$L_G = \frac{56480}{((95/100) \cdot 7,5 - (40/100) \cdot 2,6)} \cdot 1,303 = 10580 \cdot \text{м}^3 / \text{ч}.$$

8.5 Расчет естественной вентиляции

Естественная вентиляция чаще всего осуществляется через вытяжные трубы прямоугольного или круглого сечения, проходящие через потолочное перекрытие и крышу здания.

Воздух перемещается по вытяжным трубам (рисунок 2) за счет разной плотности его снаружи и внутри помещения (тепловой напор), а также под действием ветра при одинаковых плотностях воздуха (ветровой напор).

Бесканальную естественную вентиляцию применяют в помещениях большого объема. При этом удаление воздуха происходит через верхние световые фонари, в которых делают открывающиеся фрамуги.

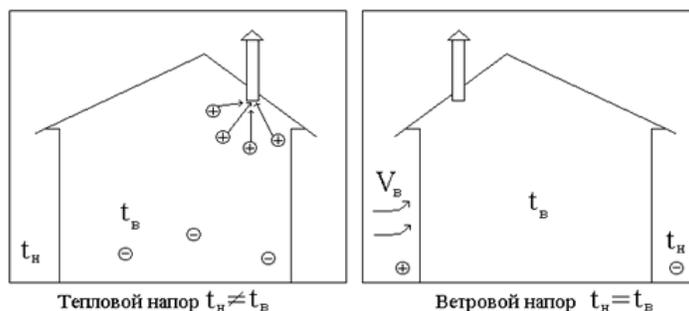


Рисунок 6 – Естественная вентиляция помещений

Расчет естественной вентиляции начинают с определения воздухообмена по одной из вышеприведенных формул (16)...(23).

Разность давлений в каналах при тепловом напоре определяют по формуле

$$\Delta H_T = h \cdot (\rho_n - \rho_g), \quad (25)$$

где h – высота вытяжной трубы или расстояние между серединами приточных и вытяжных каналов, м;

ρ_n, ρ_g – плотность наружного и внутреннего воздуха, кг/м³ (таблица 33).

Разность давлений при ветровом напоре определяют по формуле

$$\Delta H_g = \pm \psi_g \cdot v_g^2 \cdot \rho_n, \quad (26)$$

где ψ_g – экспериментальный ветровой коэффициент, зависящий от конструкции здания, $\psi_g = 0,70 \dots 0,85$ – наветренная сторона, $\psi_g = -0,30 \dots -0,45$ – заветренная сторона;

v_g – скорость ветра, м/с.

Скорость движения воздуха в вытяжных трубах находят по формуле

$$v_T = \mu \sqrt{\frac{2g\Delta H}{\rho_n}}, \quad (27)$$

где μ – коэффициент, учитывающий сопротивление, зависящее от формы и качества стенок трубы (канала), $\mu = 0,5 \dots 0,65$,

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с².

Суммарную площадь вытяжных труб находят по формуле

$$\Sigma F_{\tau} = \frac{L}{3600 \cdot v}, \quad (28)$$

где L – необходимый воздухообмен, м³/ч.

Задаваясь конструктивными размерами вытяжной трубы, определяют число вытяжных каналов по формуле

$$m = \frac{\Sigma F_{\tau}}{f}, \quad (29)$$

где f – площадь одного канала, м²;

$$f = \frac{\pi d^2}{4} \text{ – трубы круглого сечения диаметром } d, \text{ м}^2;$$

$$f = a \cdot b \text{ – трубы прямоугольного сечения, м}^2;$$

$$f = a^2 \text{ – трубы квадратного сечения, м}^2.$$

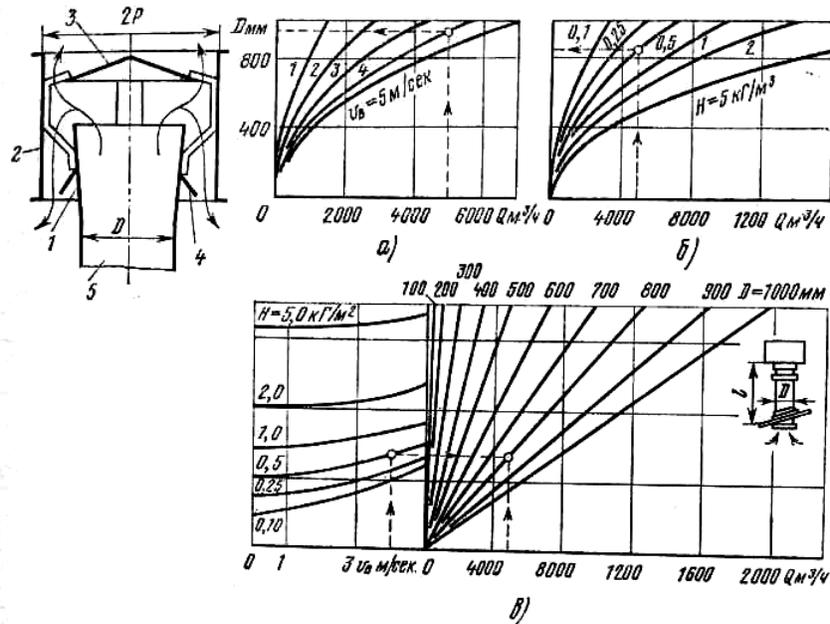
Для усиления вытяжки воздуха через каналы на верхнюю часть вытяжной трубы монтируют дефлектор, представляющий собой специальные насадки на вытяжные воздуховоды (рисунок 7).

Производительность дефлектора (м³/ч) находят по формуле

$$L_{\partial} = 3600 \frac{\pi D^2}{4} v_{\partial}, \quad (30)$$

где v_{∂} – скорость движения воздуха в трубе, м/с, $v_{\partial} = (0,2 \dots 0,4)v_{\partial}$;

D – диаметр дефлектора, м.



a - с учетом действия ветра; *б* – с учетом гравитационного давления;

в - с учетом ветра и гравитационного давления;

1 – диффузор; 2 – цилиндрическая обечайка; 3 – колпак; 4 – конус;

5 - патрубок

Рисунок 7 – Конструкция дефлектора и графики для его подбора

Производительность дефлектора можно определить через требуемый воздухообмен по формуле:

$$L_0 = \frac{L_m}{n}, \quad (31)$$

где n – число дефлекторов;

L_m – требуемый воздухообмен, м³/ч.

Необходимый диаметр дефлектора

$$D = 0,018 \sqrt{\frac{L_{\partial}}{v_{\partial}}}, \quad (32)$$

Более точно дефлектор можно подобрать, используя графики на рис.3

Пример 9. В свинарнике размещено 60 откормочных свиноматок живой массой по 100 кг и 40 - по 200 кг. Животные выделяют углекислоту, которую необходимо удалить естественным вентилированием помещения. Конструкция свинарника допускает установку вытяжных труб длиной 4,2 м. Температура внутри свинарника +10° С. Наружная температура - 10° С. Предельно допускаемая концентрация углекислоты равна 2,5 л/м³, плотность углекислого газа равна 1,874 кг/м³, содержание углекислого газа в приточном воздухе – 0,3 л/м³.

Решение: Пользуясь таблицей 31, найдем общее количество углекислоты, выделяемой всеми животными в 1 ч.

$$P = 60 \cdot 43 + 40 \cdot 57 = 4860 \text{ л/ч.}$$

Производительность вентиляции должна быть равна (формула 3)

$$L_{\Gamma} = \frac{4860}{2,5 - 0,3} = 2290 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

Найдем разность давлений в воздуховоде по формуле (11), определив предварительно плотность наружного и внутреннего воздуха по таблице 7 при атмосферном давлении 760 мм. рт. ст.

$$\Delta H_{\tau} = 4,2 \cdot (1,342 - 1,247) = 0,4 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

По формуле (27) найдем скорость воздуха

$$v_{\tau} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,4}{1,342}} = 1,7 \text{ м} / \text{с}.$$

Суммарное сечение труб найдем по формуле (28)

$$\Sigma F_{\tau} = \frac{2290}{3600 \cdot 1,7} = 0,523 \text{ м}^2.$$

Проектируем 6 вентиляционных труб сечением $0,3 \cdot 0,3 \text{ м}^2$, общим сечением $0,54 \text{ м}^2$.

8.6 Расчёт местной вентиляции

Местная приточная вентиляция служит для создания оптимального микроклимата в ограниченной зоне рабочего пространства. К местным системам относят воздушные души и оазисы, воздушные, воздушно-тепловые завесы, аспирационные кожухи, вытяжные зонты, шкафы (рисунок 8).

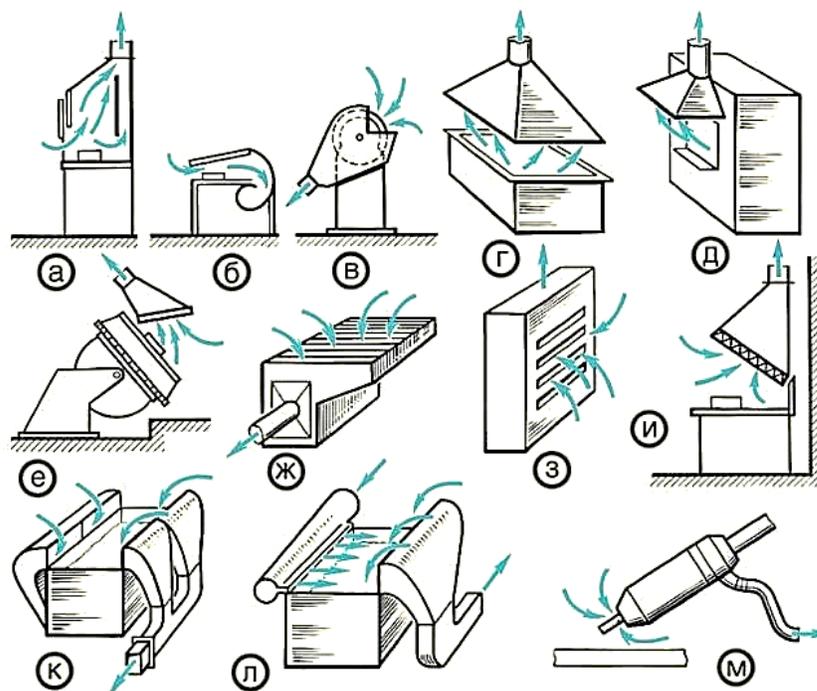
Производительность воздушного душа, оазиса, зонта, шкафа определяется по формуле

$$L_{\text{душ}} = 3600 \cdot b \cdot h \cdot v_{\text{ср}}, \quad (33)$$

где h, b – высота и ширина патрубка, подающего воздух, м;

$v_{\text{ср}}$ – средняя скорость потока воздуха, м/с,

$v_{cp} = 1 - 3,5$ м/с, в зависимости от интенсивности теплового излучения).



а - вытяжной шкаф; б - витринное укрытие; в - укрытие-кожух для заточного станка; г - вытяжной зонт; д - зонт-козырек над открытым проемом печи; е - вытяжная воронка при сварке крупногабаритных изделий; ж - нижний отсос; з - боковой отсос; и - наклонная вытяжная панель; к - двухбортовой отсос от гальванической ванны; л - однобортовой отсос с передувкой; м - кольцевой отсос для ручного сварочного пистолета

Рисунок 8 - Местные системы вентиляции

Количество воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$), удаляемого *аспирационным кожухом*, определяется по формуле

$$L_a = A \cdot D, \quad (34)$$

где A – размерный коэффициент, зависящий от диаметра круга, $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{мм})$.

Для заточных и шлифовальных станков с диаметром круга

- до 250 мм – $A = 2 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{мм})$;

- от 250 до 600 мм – $A = 1,8 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{мм})$;

- свыше 600 мм – $A = 1,6 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{мм})$.

Для полировальных станков с войлочными и матерчатыми кругами

$A = 4 \dots 6 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{мм})$.

Количество воздуха, удаляемого *местным отсосом от сварочного стола*, ($\text{м}^3/\text{ч}$), можно определить по формуле

$$L_a = k\sqrt[3]{I}, \quad (35)$$

где k - коэффициент для щелевого отсоса, $k = 12$;

I - сила сварочного тока, А.

Количество воздуха, удаляемого *бортовыми отсосами с зеркала ванн*, определяется по формуле

$$L_o = B \cdot b \cdot v_{щ} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot n \cdot 3600, \quad (36)$$

где B – ширина ванны, м;

b – ширина щели, м;

$v_{щ}$ - скорость воздуха в щели бортового отсоса, м/с;

k_1 – коэффициент, учитывающий сопротивление движения воздуха от зеркала ванны к щели. При отсутствии штанг для подвеса деталей $k_1 = 1$;

при наличии штанг $k_1 = 1,7$;

k_2 - коэффициент, учитывающий подвижность воздуха в помещении (рисунок 9);

n – количество щелей, в однобортовых $n=1$, в двухбортовых $n=2$.

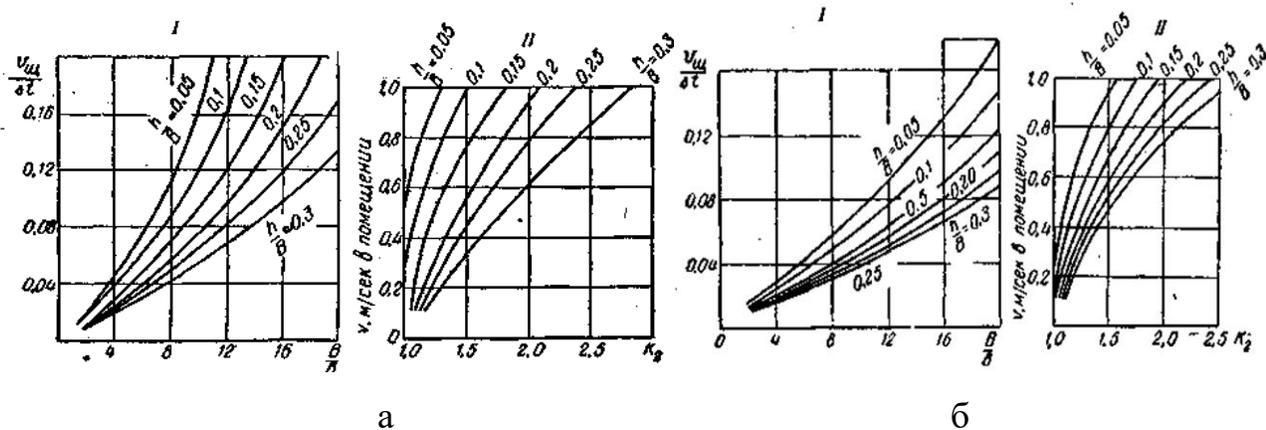
Ширина щелей b принимается из конструктивных соображений, но она не может быть менее 0,1 ширины ванны B и менее 50 мм.

Производительность вентиляции находят по формуле ($\text{м}^3/\text{ч}$)

$$L=3600 \cdot F \cdot v, \quad (37)$$

где F – площадь сечения воздуховода, м^2 ;

v – скорость движения воздуха в воздуховоде ($\text{м}/\text{с}$), измеряемая приборами контроля.



а - двухбортовой отсос; б - однобортовой отсос

Рисунок 9 - Графики для расчета бортовых отсосов

Качество вентиляции определяют сравнением установленной для данного производства нормы воздухообмена с фактической производительностью вентилятора.

Воздушные и воздушно-тепловые завесы устраивают для защиты от проникновения холодного воздуха в помещение. Подаваемый воздух к проемам, во-

ротам подается через специальный воздуховод со щелью. Скорость воздуха 10-15 м/с. Поток направлен под углом к холодному воздуху.

Количество холодного наружного воздуха, которое врывается в цех при бездействии воздушной завесы, можно рассчитать по формуле

$$L_o = H \cdot B \cdot v_B, \quad (28)$$

где H, B - высота и ширина ворот, проема, м;

v_B - скорость ветра, м/с.

Количество холодного воздуха, проникающего в цех при наличии воздушной завесы, рассчитывают по формуле

$$L_x = L_o \left(1 - \frac{h}{H} \right), \quad (25)$$

где h - высота воздушной завесы, м.

Количество воздуха, необходимое для *ветровой завесы*, определяют по формуле

$$L_z = \frac{L_o - L_x}{\varphi \sqrt{\frac{H}{b} + 1}}, \quad (40)$$

где φ - функция, зависящая от угла наклона струи завесы α и коэффициента турбулентной структуры струи a ,

$$\varphi = \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{\frac{b}{\cos \alpha}} \operatorname{th} \frac{\sin \alpha \cdot \sin \alpha}{a}, \quad (41)$$

где b - ширина щели, м;

α - угол наклона струи, $\alpha = 30 \dots 45^\circ$;

th - гиперболический тангенс;

a - коэффициент турбулентной структуры струи, $a = 0,07 \dots 0,24$.

Скорость воздуха при выходе из щели определяют по формуле

$$v_{щ} = \frac{L_3}{B \cdot b}, \quad (42)$$

где B - ширина ворот, м;

b - ширина щели, м.

Среднюю температуру воздуха, попадающего в помещение, рассчитывают по формуле

$$t_{cp} = \frac{L_3 \cdot t_{вн} + L_x \cdot t_n}{L_3 + t_3}, \quad (43)$$

где $t_{вн}, t_n$ - температура внутреннего и наружного воздуха, $^\circ\text{C}$.

Количество воздуха, удаляемое **вытяжным зонтом**, находят по формуле

$$L_3 = 3600 \cdot a \cdot b \cdot v \quad (44)$$

где a и b - размеры широкой приемной части зонта в плане, м;

v - скорость отсасываемого воздуха в приемной части зонта, м/с (табл.9).

Таблица 35 - Скорость воздуха вытяжного зонта

Число открытых сторон зонта	Скорость v , м/с
четыре	1,05...1,25
три	0,90... 1,06
две	0,75...0,90
одна	0,50...0,75

Объем воздуха, удаляемого *вытяжными шкафами (без тепловыделений)*, определяется по формуле

$$L_{ш} = 3600 \cdot F_n \cdot v_{ш} , \quad (45)$$

где $v_{ш}$ - скорость воздуха в открытом проеме шкафа, м/с;

F_n - площадь открытого проема, м².

Скорость воздуха рекомендуется принимать в зависимости от ПДК вредных выделений:

для ПДК меньше 10 мг/м³ $v_{ш} = 1,1...1,5$ м/с;

для ПДК от 10 до 50 мг/м³ $v_{ш} = 0,7... 1,0$ м/с;

для ПДК более 50 мг/м³ $v_{ш} = 0,4...0,6$ м/с.

Объем воздуха, удаляемого *вытяжными шкафами (с тепловыделениями)* определяется по формуле

$$L_{ш} = 75 \sqrt[3]{H \cdot Q \cdot F_n^2} , \quad (46)$$

где H - высота рабочего проема, м;

Q - количество выделяющегося тепла, кДж/ч.

Пример 10. На сварочной установке в час расходуется 0,6 кг электродов марки ОММ-5. Размер бокового зонта у сварочного стола 0,8x1,2 м². Требуется определить, какая скорость воздуха должна быть в широкой части зонта, чтобы можно было полностью удалить газы, выделяющиеся при сварке.

Решение: Количество вредных газов, выделяющихся при сварке, зависит от марки электродов (табл. 5).

Норма воздухоотсоса в м³ на 1 кг электродов должна быть следующая:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| - для электродов марки ОММ-5 | 4000 м ³ ; |
| - для электродов марки ЦМ-7, ЦМ-8 | 5000 м ³ ; |
| - для электродов марки УОНИ, К-52 | 6000 м ³ . |

Зная норму воздухоотсоса, определим требуемый воздухообмен:

$$L = 0,6 \cdot 4000 = 2400 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Рассчитаем скорость отсоса воздуха в широкой части зонта, выразив ее из формулы (44)

$$v = \frac{2400}{3600 \cdot 0,8 \cdot 1,2} = 0,7 \text{ м/с}.$$

Пример 11. Определить количество воздуха, отсасываемого с верстака медника вытяжным зонтом. Размеры зонта в плане 1,5x0,8 м². Скорость движения отсасываемого воздуха 0,8 м/с.

Решение: Количество отсасываемого воздуха найдем по формуле (44):

$$L = 3600 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 3456 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Пример 12. В ремонтной мастерской установлена ванна для восстановления плунжерных пар хромированием. Размеры ванны:

ширина $B = 600$ мм; длина $l = 900$ мм, площадь зеркала электролита $0,54 \text{ м}^2$.

Требуется рассчитать двухбортную отсосную вентиляцию.

Решение: Ширина щели $b = B/10 = 600/10 = 60$ мм.

Высоту потока паров h , находящихся над зеркалом электролита, допускаем равной $0,05 \cdot B = 0,05 \cdot 600 = 30$ мм.

Температура ванны при хромировании должна быть 58°C температура помещения 18° . Разница температур $\Delta t = 58 - 18 = 40^\circ$.

Зная отношения $B/b = 10$ и $h/B = 0,05$ по графику (рисунок 8) находим отношение $v_{щ}/\Delta t = 0,07$.

Определим скорость воздуха в щели

$$v_{щ} = 0,07 \cdot 40 = 2,8 \text{ м/с.}$$

Скорость движения воздуха для помещения примем равной $0,8$ м/сек.

По скорости воздуха и отношению h/B из графика (рисунок 8) находим коэффициент k_2 . Для нашего примера $k_2 = 1,35$.

Далее, подставляя полученные величины в формулу (36), находим производительность бортовых отсосов

$$L_0 = 0,6 \cdot 0,06 \cdot 2,8 \cdot 2 \cdot 1,7 \cdot 1,35 \cdot 3600 = 2500 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Объём воздуха, отсасываемого с 1 м^2 зеркала электролита ванны, отыскиваем по формуле

$$L_{y\partial} = \frac{L}{F}, \quad (47)$$

где F – площадь зеркала электролита, м^2 .

$$L_{\text{yo}} = \frac{2500}{0,54} = 4650 \text{ м/ч.}$$

Пример 12. Найти производительность вентилятора и скорость движения воздуха в отсосном воздуховоде для наждачной колонки с диаметром абразивного круга 260 мм. Диаметр воздуховода 100 мм.

Решение: Для круга диаметром 260 мм коэффициент $A = 1,8$

Найдем по формуле (33) производительность вентиляции:

$$L_a = 1,8 \times 260 = 468 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Скорость воздуха в вытяжном воздуховоде круглого сечения, радиусом 0,05 м, найдем по формуле (37)

$$v = 468 / 3600 \cdot 3,14 \cdot 0,05^2 = 16,6 \text{ м/с.}$$

8.7 Расчёт механической общеобменной вентиляции

В системах механической вентиляции движение воздуха осуществляется вентиляторами и эжекторами.

Вентиляторы – это воздуходувные машины (осевые или центробежные), служащие для перемещения воздуха.

Эжекторы – это устройства, применяемые в вытяжных системах в тех случаях, когда необходимо удалить агрессивную среду, пыль, способную к взрыву не только от удара, но и от трения или легковоспламеняющиеся и взрывоопасные газы (Приложение Б, рис. 7).

Для подбора вентиляторов нужно знать требуемую производительность и полное давление.

Требуемую производительность $W_{\text{вент}}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$) рассчитывают по формуле

$$W_{\text{вент}} = L_{\text{расч}} \cdot k, \quad (48)$$

где $L_{\text{расч}}$ - полученный по расчёту суммарный воздухообмен для всех вентилируемых помещений, $\text{м}^3/\text{ч}$;

k_3 – коэффициент запаса,

$k = 1,1$ для стальных воздуховодов длиной до 50 м;

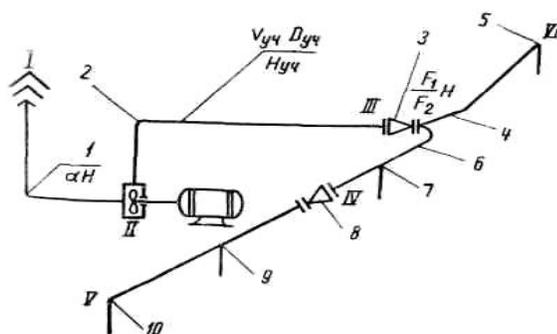
$k = 1,15$ для стальных воздуховодов длиной более 50 м.

Давление для подбора вентилятора ($H_{\text{вент}}$) определяют по формуле

$$H_{\text{вент}} = H \cdot k_3, \quad (49)$$

где H – давление, подсчитанное для всей системы вентиляции, Па;

k_3 - коэффициент запаса, $k_3 = 1,1$.



I – VI – участки сети; 1, 2, 4-7, 9, 10 – изгибы воздуховода (колена);

3, 8 - переходы

$V_{\text{уч}}$ - объем воздуха на участке; $D_{\text{уч}}$ - диаметр трубопровода на участке;

$H_{\text{уч}}$ - потери напора на участке; α - угол колена; H - потери напора;

F_1 / F_2 - соотношения поперечных сечений сужений труб.

Рисунок 10– Схема вентиляционной сети

Расчётное давление (напор) определяется из выражения

$$H = R \cdot l + Z, \quad (50)$$

где H – напор, Па;

R – потери давления на трение в воздуховоде длиной 1 м, Па;

l - длина участка воздуховода, м;

Z - потери давления в местных сопротивлениях в том же воздуховоде, Па.

Потери давления (напора) на прямых участках труб рассчитывают по формуле

$$Z = \sum E \frac{g^2 \cdot \gamma}{2}, \quad (51)$$

где $\sum E$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений на рассматриваемом участке воздуховода (таблица 36);

$\frac{g^2 \gamma}{2}$ - динамическое давление, Па (таблица 36).

Или потери напора на прямых участках можно определить по формуле

$$Z = \frac{\varphi_T \cdot l_T \cdot \rho_g \cdot v_{cp}^2}{2d}, \quad (52)$$

где φ_T - коэффициент, учитывающий сопротивление труб, для железных труб

$$\varphi_T = 0,02;$$

v_{cp} - средняя скорость воздуха, м/с; для прилегающих к вентилятору участков $v_{cp} = 8 \dots 12$ м/с, для удаленных – $v_{cp} = 1 \dots 4$ м/с;

l_T - длина воздуховода, м;

d - диаметр трубы, м;

ρ_B - плотность воздуха, кг/м³; $\rho_B = 1,247$ кг/ м³.

Потери давления в расчётной ветви воздуховодов составляют сумму потерь давления в участках, составляющих рассчитываемую ветвь

$$H = \sum \cdot (R \cdot L + Z), \text{ или } H = Z + Z_M \quad (53)$$

Местные потери напора в коленах, переходах, жалюзи рассчитываются по формуле

$$Z_M = 0,5 \cdot \psi_M \cdot v_{cp}^2 \cdot \rho_B \quad (54)$$

где ψ_M - коэффициенты местных потерь напора (таблица 37);

Зная величину максимальных потерь напора H , по номограмме выбирают номер вентилятора N , максимальный КПД вентилятора η_B и безразмерный параметр A (рисунок 11).

Марки вентиляторов приведены в таблице 36.

Таблица 36 - Техническая характеристика воздухораспределителей типа ВЦ

Типоразмер	Размеры, мм									$F, \text{ м}^2$	Пропускная способность, м ³ /ч, при скорости в отверстии $v, \text{ м/с}$									Масса, кг
	d_0	D_1	B	h	h_0	h_1	A	Б	H		4	5	6	7	8	9	10	11	12	
											и сопротивлению $\Delta P, \text{ кгс/м}^2$									
											6	9	13	17	23	29	35	43	51	
ВЦ-3	355	450	250	400	160	266	720	645	740	0,098	1415	1770	2120	2480	2830	3180	3450	3900	4250	32,0

Продолжение таблицы 36

ВЦ-5	500	670	400	500	225	375	1085	932	970	0,195	2820	3520	4220	4920	5630	6330	7040	7750	8450	61,5
ВЦ-7	710	980	500	800	320	532	1442	1246	1450	0,394	5700	7100	8520	9950	11350	12800	14200	15600	17000	145,5
ВЦ-9	900	1260	800	800	405	675	2066	1733	1600	0,633	9150	11450	13750	16000	18300	20600	22000	25200	27400	229,5

По номеру вентилятора N и коэффициенту A рассчитывают количество оборотов вентилятора по формуле

$$n = A / N \quad (55)$$

7.9 Если при подборе вентилятора полученные величины W и $N_{\text{вент}}$ не попадают на характеристику одного из вентиляторов, имеющих на графике (номограмме), то принимают ближайший подходящий вентилятор, и, изменяя число оборотов вентилятора, получают требуемую по расчёту производительность и давление.

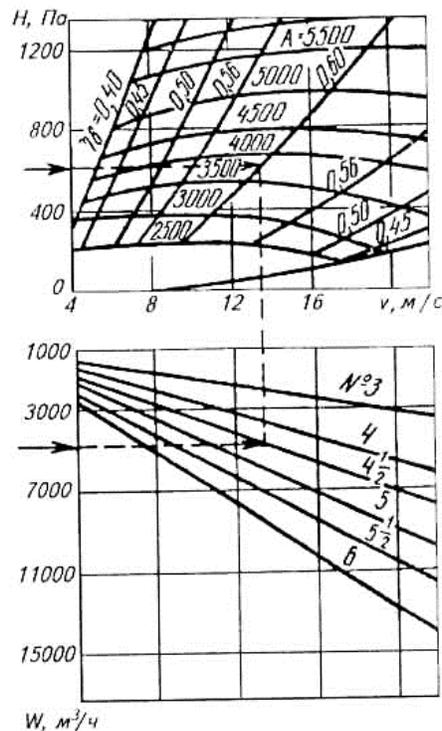


Рисунок 11– Номограмма для выбора вентилятора

Пересчёт производят по формулам

$$W_2 = W_1 \frac{n_2}{n_1}, \quad (56)$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2, \quad (57)$$

$$N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3, \quad (58)$$

где n_1 – число оборотов по характеристике;

n_2 – число оборотов изменённое;

L_1, P_1, N_1 – соответственно производительность, давление и мощность по характеристике;

L_2, P_2, N_2 - производительность, давление и мощность расчётные.

Электродвигатель подбирается по установочной мощности и числу оборотов вентилятора

Таблица 37 - Типоразмер и мощности асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором до 400 кВт

Типоразмер	Мощность P_n (кВт) при n_n , мин ⁻¹				Масса, кг
	3000	1500	1000	750	
Серии 4АН в исполнении IP 23					
4АН160S	22	18,5	-	-	112
4АН160M	30	22	-	-	132
4АН180S	37	30	18,5	15	170
4АН180M	45	37	22	18,5	186
4АН200M	55	45	30	22	260
4АН200L	75	55	37	30	295
4АН225M	90	75	45	37	355
4АН250S	110	90	55	45	450
4АН250M	132	110	75	55	500
4АН280S	160	132	90	75	715

Продолжение таблицы 37

4АН280М	200	160	110	90	825
4АН315S	—	200	132	110	860
4АН315М	250	250	160	132	940
4АН355S	315	315	200	160	1200
4АН355М	400	400	250	200	1350
Серии 4А в исполнении IP 44					
4А56А	0,18	0,12	-	-	4,5
4А56В	0,25	0,18	-	-	4,5
4А63А	0,37	0,25	0,18	-	6,3
4А63В	0,55	0,37	0,25	-	6,3
4А71А	0,75	0,55	0,37	-	15,1
4А7Ш	1,1	0,75	0,55	0,25	15,1
4А80А	1,5	1,1	0,75	0,37	17,4
4А80В	2,2	1,5	1,1	0,55	20,4
4А90L	3	2,2	1,5	0,75	28,7
4А90L	-	-	-	1,1	28,7
4А100S	4	3	-	-	36
4А100L	5,5	4	2,2	1,5	42
4А112М	7,5	5,5	3	2,2	56
4А112М	-	-	4	3	56
4А132S	-	7,5	5,5	4	77
4А132М	11	11	7,5	5,5	93
4А160М	18,5	18,5	15	11	155
4А180S	22	22	-	-	170
4А180М	30	30	18,5	15	185
4А200М	37	37	22	18,5	255
4А200L	45	45	30	22	285
4А225М	55	55	37	30	380
4А250S	75	75	45	37	475
4А250М	90	90	55	45	515
4А280S	110	110	75	55	810
4А280М	132	132	90	75	870
4А315S	160	160	110	90	1000
4А315М	200	200	132	110	1100
4А355S	250	250	160	132	1420
4А355М	315	315	200	160	1670

Таблица 38 - Электродвигатели односкоростные

Мощность, кВт	Число об/мин	Тип электродвигателя	Мощность, кВт	Число об/мин	Тип электродвигателя
0,6	1410	АиАЛ31-4	4,5	1440	АиАЛ 51-4
0,6	1410	АОиАОЛ31-4	4,5	1440	АОиАОЛ 51-4
0,6	2960	АОиАОЛ31,2	4,5	2870	АиАЛ 42-2
1,0	930	АиАЛ41-6	4,5	2900	АОиАОЛ 51-2
1,0	930	АОиАОЛ41-6	7,0	730	А 62-8
1,0	1410	АиАЛ 32-4	7,0	735	АО 63-8
1,0	1410	АОиАОЛ 32-4	7,0	970	А 61-6
1,0	2850	АиАЛ 31-2	7,0	980	АО 62-6
1,0	2890	АОиАОЛ 32-2	7,0	1440	АиАЛ 52-4
1,7	430	АиАЛ 42-8	7,0	1440	АиАЛ 52-4
1,7	430	АОиАОЛ 42-8	7,0	2890	АиЛЛ51-2
1,7	1420	АиАЛ 41-4	7,0	2900	АиАЛ 52-2
1,7	1420	АОиАОЛ 41-4	10,0	730	А 71-8
1,7	2850	АиАЛ 32-2	10,0	735	АО 72-8
1,7	2850	АОиАОЛ 41-2	10,0	970	А 62-6
2,8	450	ЛиАЛ 51-6	10,0	980	АО 63-6
2,8	430	АОиАОЛ 51-6	10,0	1450	А 61-4
2,8	1420	АиАЛ 42-4	10,0	1460	АО 52-4
2,8	1420	АОиАОЛ 42-4	10,0	2890	АиАЛ 52-2
2,8	2870	АиАЛ 41-2	10,0	2930	АО 62-2
2,8	2880	АОиАОЛ 42-2	14,0	730	А 72-8
4,5	730	А61-8	14,0	735	АО 73-8
4,5	735	АО 62-8	14,0	970	А 71-6
4,5	960	АиАЛ 52-6	14,0	980	АО 72-6
4,5	960	АОиАОЛ 52-6	14,0	1450	А 62-4

Необходимую мощность электродвигателя определяют по формуле

$$N_B = \frac{W_{вент} H_{вент}}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta_B \eta_{\Pi}}, \quad (59)$$

где N_B – мощность, потребляемая вентилятором, кВт;

η_B – к.п.д. вентилятора (по характеристике);

η_{Π} – к.п.д. привода, принимаемый:

- для электровентиляторов – $\eta_{\Pi} = 1,0$;

- для муфтового соединения – $\eta_{\Pi} = 0,98$

- для клиноременной передачи – $\eta_{\Pi} = 0,95$.

Установочную мощность электродвигателя определяют по формуле:

$$N_{уст} = K_3 \cdot N_d, \quad (60)$$

где K_3 – коэффициент запаса мощности электродвигателей (1,5...1,1).

Пример 13. Рассчитать механическую вентиляцию в кабине трактора.

Решение: Расчет производим по выделению углеводородов. Углеводородов в пересчете на углерод выделяется 350 мг/м^3 , ПДК= 300 мг/м^3 .

Тогда кратность воздухообмена (раз в час) будет равна

$$K = 350/300 = 1,2$$

Приняв объем кабины трактора $V = 1,5 \text{ м}^3$, определим требуемый воздухообмен по формуле (15)

$$L_m = 1,2 \cdot 1,5 = 1,8 \text{ м}^3/\text{ч},$$

Таблица 39 – Данные для расчета круглых стальных воздуховодов

Динамическое давление, Па $\frac{\rho^2 v^2}{2}$	Скорость движения воздуха, м/с	Количество проходящего воздуха, м ³ /ч (верхняя строка) и потери давления на трение на 1м воздуховода (Па) при внутренних диаметрах (нижняя строка), мм											
		180	200	225	250	280	315	355	400	450	500	560	630
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2,403	2,0	<u>183</u> 0,353	<u>226</u> 0,265	<u>286</u> 0,265	<u>353</u> 0,235	<u>443</u> 0,206	<u>561</u> 0,176	<u>712</u> 0,147	<u>904</u> 0,128	<u>1145</u> 0,108	<u>1413</u> 0,098	<u>1772</u> 0,088	<u>2243</u> 0,078
3,453	2,4	<u>220</u> 0,490	<u>271</u> 0,432	<u>343</u> 0,373	<u>424</u> 0,324	<u>532</u> 0,284	<u>673</u> 0,245	<u>865</u> 0,206	<u>1085</u> 0,176	<u>1373</u> 0,157	<u>1696</u> 0,137	<u>2127</u> 0,118	<u>2692</u> 0,098
4,709	2,8	<u>256</u> 0,647	<u>317</u> 0,559	<u>401</u> 0,490	<u>495</u> 0,432	<u>620</u> 0,373	<u>785</u> 0,324	<u>997</u> 0,275	<u>1266</u> 0,235	<u>1602</u> 0,206	<u>1978</u> 0,176	<u>2481</u> 0,157	<u>3141</u> 0,137
6,141	3,2	<u>293</u> 0,824	<u>362</u> 0,716	<u>458</u> 0,628	<u>465</u> 0,549	<u>709</u> 0,471	<u>897</u> 0,412	<u>1140</u> 0,353	<u>1447</u> 0,304	<u>1831</u> 0,265	<u>2261</u> 0,226	<u>2836</u> 0,196	<u>3589</u> 0,176

Продолжение таблицы 39

7,779	3,6	<u>330</u> 1,020	<u>407</u> 0,892	<u>515</u> 0,775	<u>636</u> 0,677	<u>798</u> 0,589	<u>1009</u> 0,510	<u>1282</u> 0,441	<u>1628</u> 0,373	<u>2060</u> 0,324	<u>2543</u> 0,284	<u>3190</u> 0,245	<u>4038</u> 0,216
9,604	4,0	<u>366</u> 1,236	<u>452</u> 1,079	<u>572</u> 0,932	<u>706</u> 0,814	<u>886</u> 0,706	<u>1122</u> 0,608	<u>1426</u> 0,530	<u>1809</u> 0,451	<u>2289</u> 0,391	<u>2826</u> 0,343	<u>3534</u> 0,296	<u>4481</u> 0,255
11,576	4,4	<u>403</u> 1,472	<u>497</u> 1,285	<u>629</u> 1,108	<u>777</u> 0,971	<u>975</u> 0,853	<u>1234</u> 0,736	<u>1567</u> 0,628	<u>1990</u> 0,540	<u>2518</u> 0,471	<u>3109</u> 0,412	<u>3899</u> 0,353	<u>4935</u> 0,304
13,83	4,8	<u>440</u> 1,426	<u>543</u> 1,510	<u>687</u> 1,305	<u>848</u> 1,148	<u>1063</u> 0,991	<u>1346</u> 0,853	<u>1710</u> 0,736	<u>2170</u> 0,638	<u>2747</u> 0,549	<u>3391</u> 0,481	<u>4254</u> 0,422	<u>5384</u> 0,363
15,01	5,0	<u>458</u> 1,854	<u>565</u> 1,619	<u>715</u> 1,402	<u>883</u> 1,236	<u>1108</u> 1,069	<u>1402</u> 0,922	<u>1781</u> 0,795	<u>2261</u> 0,589	<u>2861</u> 0,589	<u>3532</u> 0,520	<u>4431</u> 0,451	<u>5608</u> 0,392
17,462	5,4	<u>494</u> 2,138	<u>610</u> 1,874	<u>773</u> 1,619	<u>954</u> 1,422	<u>1196</u> 1,236	<u>1514</u> 1,060	<u>1923</u> 0,912	<u>2442</u> 0,785	<u>3090</u> 0,677	<u>3815</u> 0,598	<u>4786</u> 0,520	<u>6057</u> 0,451
20,21	5,8	<u>531</u> 2,443	<u>656</u> 2,129	<u>830</u> 1,844	<u>1024</u> 1,619	<u>1285</u> 1,4031	<u>1626</u> 1,216	<u>2066</u> 1,050	<u>2623</u> 0,902	<u>3319</u> 0,775	<u>4098</u> 0,677	<u>5140</u> 0,589	<u>6506</u> 0,510
21,582	6,0	<u>549</u> 2,600	<u>678</u> 2,266	<u>858</u> 1,962	<u>1060</u> 1,726	<u>1329</u> 1,491	<u>1682</u> 1,296	<u>2137</u> 1,108	<u>2713</u> 0,961	<u>3434</u> 0,824	<u>4239</u> 0,726	<u>5317</u> 0,628	<u>6730</u> 0,540

Таблица 40 - Значения коэффициентов местных сопротивлений воздухопроводов

Наименования местного сопротивления	Коэффициент Ψ_M	Наименование местного сопротивления	Коэффициент Ψ_M
Колено: $\alpha = 90^\circ$	1,1	Внезапное расширение: $\frac{f}{F} = 0,1$	0,81
$\alpha = 120^\circ$	0,55	$\frac{f}{F} = 0,1$	0,49
$\alpha = 150^\circ$	0,2	$\frac{f}{F} = 0,1$	0,25
Отвод: $\frac{R}{D} = 1,5$	0,25	Дроссель или задвижка	0,01
$\frac{R}{D} = 1$	0,175	Боковой вход	1
$\frac{R}{D} = 2$	0,15	Вход с конца	0,3
Внезапное сужение: $\frac{f}{F} = 0,1$	0,29	Выход с конца	1
$\frac{f}{F} = 0,3$	0,25	Сетка с живым сечением 80%	0,1
$\frac{f}{F} = 0,4$	0,21	Жалюзи-выход	3
$\frac{f}{F} = 0,5$	0,18	Жалюзи-вход	0,5

Определим площадь поперечного сечения воздуховода S , принимая скорость воздушного потока $v = 1$ м/с по формуле (28)

$$S = 1,8 / 3600 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Так как воздуховод круглого сечения, радиус его будет равен

$$r = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 0,012 \text{ м}$$

Производительность вентилятора найдем с учетом коэффициента запаса ($\kappa_3 = 1,3$) по формуле (48)

$$W_{\text{вент}} = 1,8 \cdot 1,3 = 2 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Рассчитаем потери напора в вентиляционной сети по формуле (52)

$$Z = \frac{0,02 \cdot 1,247 \cdot 1 \cdot 1,5}{2 \cdot 0,024} 0,75 \text{ Па}$$

Местные потери в коленах, переходах, жалюзи найдем по формуле (54)

$$Z_M = 0,5 (1,5 + 1,1 + 0,8 + 6) 1 \cdot 1,247 = 5,9 \text{ Па}.$$

Суммарные потери напора в линии определим по формуле (53)

$$Z_{\text{л}} = 5,9 + 0,75 = 6,65 \text{ Па}.$$

Тогда напор вентилятора $H_{\text{вент}} = Z_{\text{л}} = 6,65$ Па.

Найдем мощность (кВт), необходимую для привода вентилятора по формуле (58)

$$N_{\text{в}} = \frac{6,65 \cdot 2}{3,6 \cdot 10^6 \cdot 0,4 \cdot 0,9} = 4 \cdot 10^3 \text{ кВт}.$$

Выбираем электродвигатель для привода вентилятора МЭ-12,5 мощностью 12,5 Вт.

Список литературы

ГОСТ 2.601-2006. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

ГОСТ 9.032-74. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрyтия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначения.

ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

ГОСТ 12.3.009-76. Система стандартов безопасности труда. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.3.018-79. Система стандартов безопасности труда. Методы аэродинамических испытаний.

ГОСТ 12.4.021-75. Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Общие требования.

ГОСТ 15.001-88. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения.

ГОСТ 166-89. Штангенциркули. Технические условия.

ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические. Технические условия.

ГОСТ 10905-86. Плиты поверочные и разметочные. Технические условия.

ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

ГОСТ 22270-76. Оборудование для кондиционирования воздуха, вентиляции и отопления. Термины и определения.

ГОСТ 23852-79. Покрытия лакокрасочные. Общие требования к выбору по декоративным свойствам.

ГОСТ 24751-81. Оборудование воздухотехническое. Номинальные размеры присоединений.

ГОСТ 25346-89. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.

Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений.

Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.2309-07 Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твердых частиц, озона, двуокиси азота и двуокиси серы. Глобальные обновленные данные. 2005 год. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2006. 31 с.

Площади поверхностей воздуховодов

Таблица А.1 - Площади развернутой поверхности металла для одного погонного метра прямых участков круглых воздуховодов и заглушек к ним

Диаметр, мм	Площадь поверхности, м ²	
	прямого участка длиной 1 пог.м	заглушки
100	0,31	0,0079
125	0,39	0,012
160	0,50	0,020
200	0,63	0,031
250	0,79	0,049
315	0,99	0,078
355	1,12	0,099
400	1,26	0,13
450	1,41	0,16
500	1,57	0,20
560	1,76	0,25
630	1,98	0,31
710	2,23	0,40
800	2,52	0,50
900	2,83	0,64
1000	3,14	0,79
1120	3,52	0,99
1250	3,93	1,23

Продолжение таблицы А.1

1400	4,40	1,54
1600	5,02	2,01
1800	5,65	2,54
2000	6,28	3,14

Таблица А.2 - Площади развернутой поверхности металла для одного погонного метра прямых участков прямоугольных воздуховодов и заглушек к ним

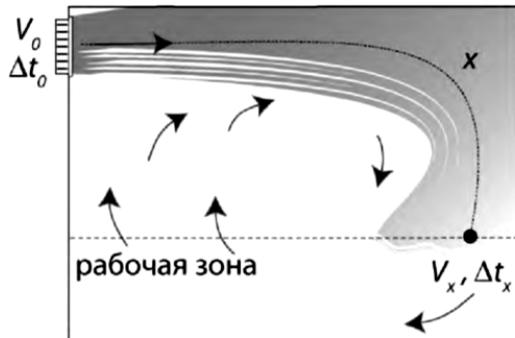
Сечение воздуховода, мм	Площадь поверхности, м ²	
	прямого участка длиной 1 пог.м	заглушки
100×100	0,40	0,01
100×150	0,50	0,02
150×150	0,60	0,03
150×200	0,70	0,03
150×250	0,80	0,04
250×250	1,00	0,06
250 x 300	1,10	0,08
250×400	1,30	0,10
250×500	1,50	0,13
400×400	1,60	0,16
400×500	1,80	0,20
400×600	2,00	0,24
400×800	2,40	0,32
500×500	2,00	0,25
500×600	2,20	0,30
500×800	2,60	0,40
500×1000	3,00	0,50

Продолжение таблицы А.2

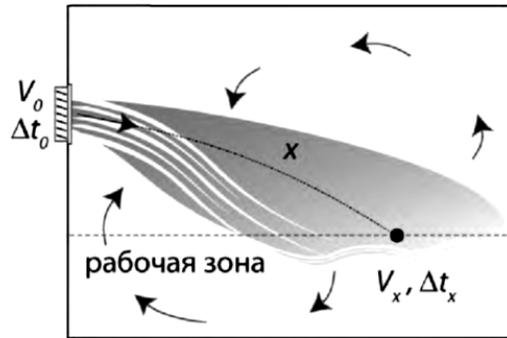
600×600	2,40	0,36
600×800	2,80	0,48
600×1000	3,20	0,60
600×1250	3,70	0,75
800×800	3,20	0,64
800×1000	3,60	0,80
800×1250	4,10	1,00
800×1600	4,80	1,28
1000×1000	4,00	1,00
1000×1250	4,50	1,25
1000×1600	5,20	1,60
1000×2000	6,00	2,00
1250×1250	5,00	1,56
1250×1500	5,50	1,88
1250×2000	6,50	2,50
1600×1600	6,40	2,56
1600×2000	7,20	3,20

Схемы подачи приточного воздуха для перемешивающей вентиляции

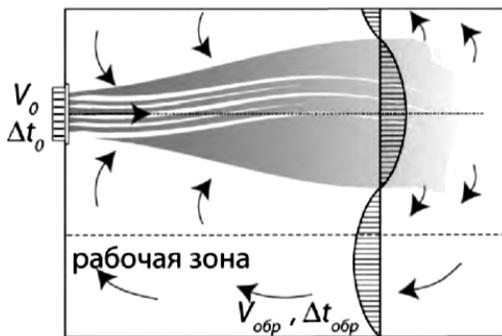
Воздухораспределительные устройства I и III классов



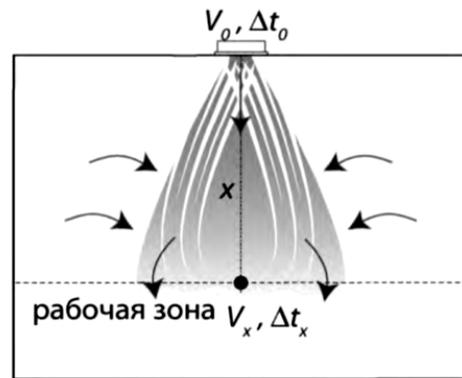
Сверху вниз настилающимися на поверхность компактными и плоскими струями



Сверху вниз наклонными компактными, коническими смыкающимися и плоскими струями

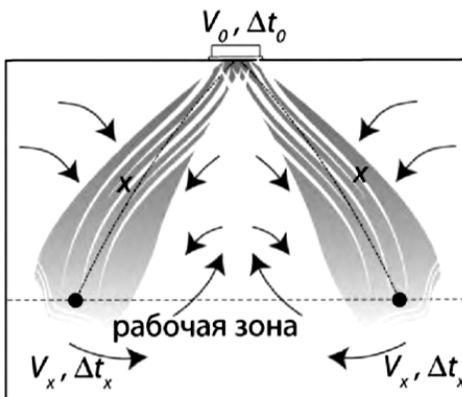


Выше рабочей зоны горизонтальными стесненными компактными и плоскими струями при формировании обратного потока

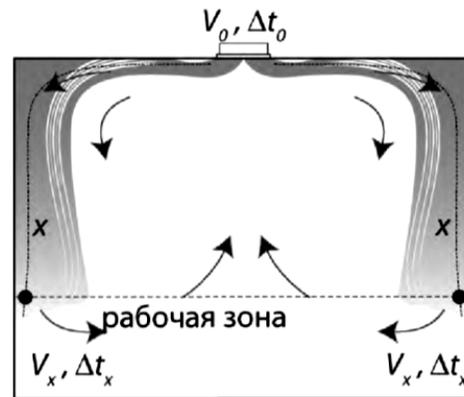


Сверху вниз компактными и коническими смыкающимися струями

Воздухораспределительные устройства II класса



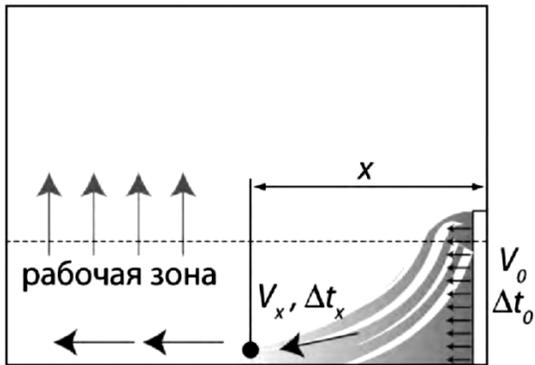
Сверху вниз коническими несмыкающимися струями



Сверху вниз настилающимися на поверхность веерными струями

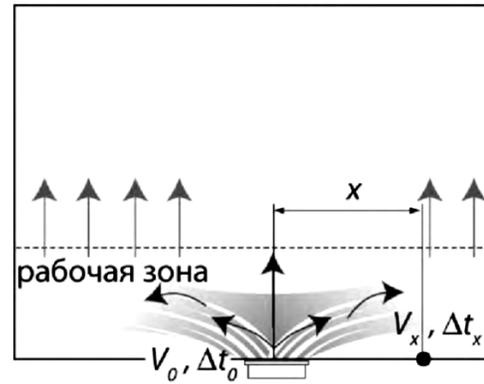
Для вытесняющей вентиляции
Воздухораспределительные устройства IV класса

Тип 1



Горизонтально в рабочую зону низкоскоростным потоком

Тип 2



Вертикально снизу вверх низкоскоростным потоком

Учебное издание

Панова Татьяна Васильевна
Панов Максим Владимирович
Симбирцева Марина Евгеньевна

***СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ
ВОЗДУХА ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ***

Учебное пособие
для бакалавров, всех направлений подготовки

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 23.05.2023 г. Формат 60x84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 7,38. Тираж 25 экз. Изд. № 7533.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ