

2. ВЕНТИЛЯЦИЯ

2.1. Общие положения

Под вентиляцией понимают обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги и вредных веществ с целью обеспечения допустимых параметров микроклимата и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне. Допустимыми параметрами микроклимата является такое сочетание параметров воздуха, которые при длительном воздействии на человека могут вызывать дискомфорт, но при этом нет опасности для здоровья человека.

Воздух удаляется из тех помещений, где происходит наибольшее выделение вредных веществ. Для этого в каждой квартире предусматриваются вытяжные каналы из кухни, ванной комнаты и туалета или совмещенного санузла. В пределах одной квартиры или ячейки в общежитии допускается осуществлять удаление воздуха одним каналом с подключением к нему следующих помещений:

- кухня и ванная;
- санузел и ванная.

Приток воздуха предусматривается через неплотности в ограждающих конструкциях и открытые форточки, а также через специальные устройства – клапаны.

Вытяжка воздуха производится через жалюзийные решетки, устанавливаемые на расстоянии 0,2–0,5 м от потолка.

В жилых зданиях с кирпичными внутренними стенами вентиляционные каналы устраивают в толще стен (рис. 2.1, а) или в бороздах, заделываемых плитами (рис. 2.1, б). Размеры каналов в кирпичных стенах принимают кратными размерам кирпича: $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ кирпича (140×140 мм), $\frac{1}{2} \times 1$ кирпич (140×270 мм). Расстояние между соседними вытяжными каналами и толщина стенки канала должны быть не менее $\frac{1}{2}$ кирпича (140 мм), между каналом и дверным проемом – не менее 410 мм [9, 10]. В наружных стенах каналы не размещаются.

В случае отсутствия внутренних кирпичных стен устраивают приставные каналы (рис. 2.1, в) из блоков и плит с минимальным размером 100×150 мм, которые обычно выполняют из гипсошлаковых и шлакобетонных плит толщиной 35–40 мм. Приставные воздуховоды, как правило, устраивают у внутренних строительных конструкций: они могут размещаться у перегородок или компоноваться со встроенными шкафами. Если приставные воздуховоды по какой-либо причине

размещаются у наружной стены (рис. 2.1, *з*), то между стеной и воздуховодом обязательно оставляют воздушную прослойку не менее 50 мм или делают утепление с целью недопущения охлаждения воздуха и, как следствие, снижения гравитационного давления.

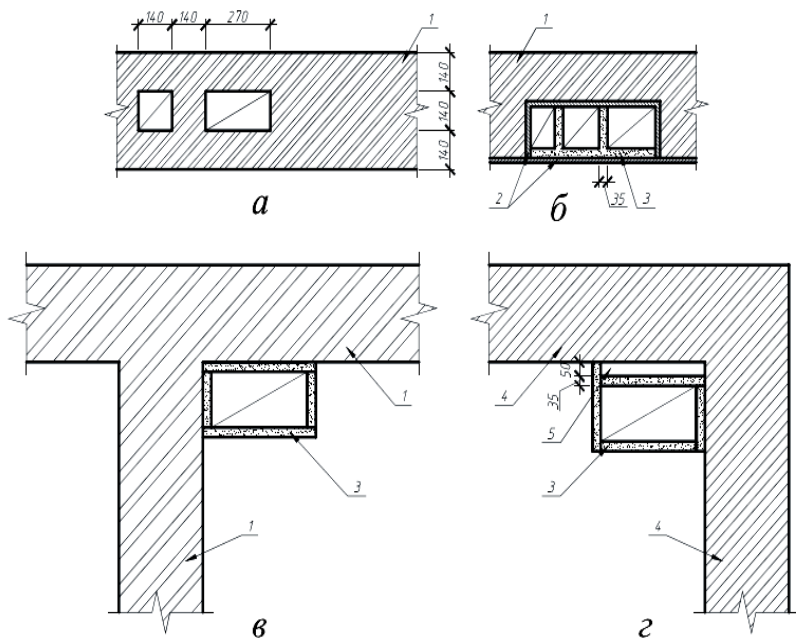


Рис. 2.1. Конструкция вентиляционных каналов:

а – во внутренних кирпичных стенах; *б* – в бороздах стены;

в – приставной у внутренних кирпичных стен; *г* – у наружной стены;

1 – внутренняя кирпичная стена; 2 – штукатурка; 3 – гипсошлаковые плиты;

4 – наружная стена; 5 – воздушная прослойка

В панельных зданиях вентиляция осуществляется через приставные или встроенные каналы во внутренних стенах и перегородках.

В этом случае могут быть также приняты каналы круглого сечения диаметром не менее 100 мм из асбестоцементных труб или специальные вентиляционные блоки (рис. 2.2).

Воздуховоды, прокладываемые на чердаках или в неотапливаемых помещениях, выполняют из двойных гипсошлаковых или шлакобетонных плит толщиной 40–50 мм с воздушной прослойкой 40 мм

(рис. 2.3) либо из многпустотных гипсошлаковых или шлакобетонных плит толщиной 100 мм.

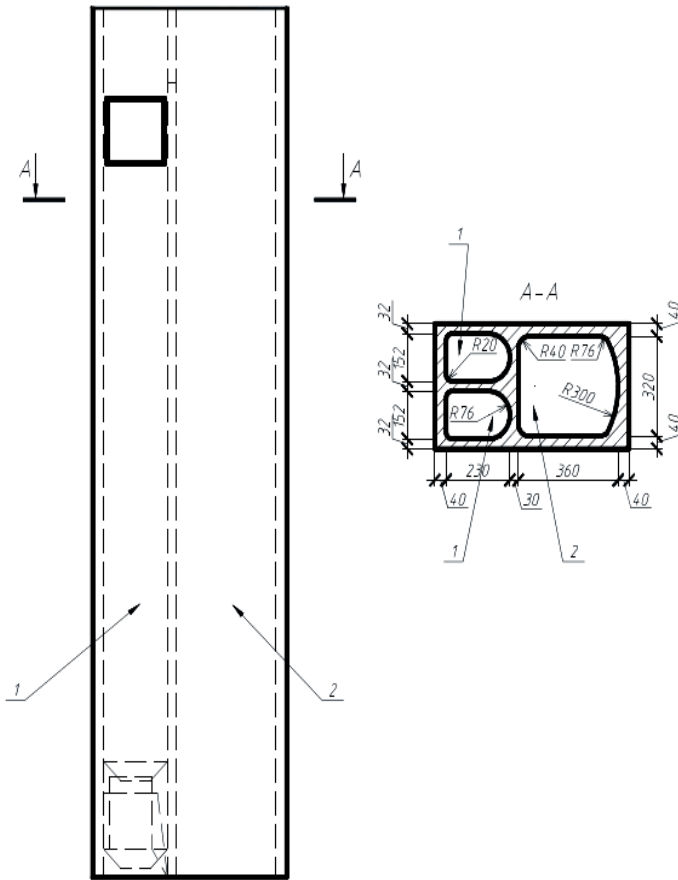


Рис. 2.2. Конструкция унифицированного вентиляционного блока:
1 – каналы-спутники; 2 – сборный вентиляционный канал

Термическое сопротивление стенок воздуховодов, прокладываемых на чердаках или в неотапливаемых помещениях, должно быть не менее $0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Сборные воздуховоды на чердаке размещают по железобетонному покрытию с подстилкой одного ряда плит, который зали-

вают цементным раствором слоем не менее 5 мм. Размер горизонтальных воздухопроводов, расположенных на чердаках, следует принимать не менее 200×200 мм. Максимальный радиус действия одной вытяжной системы равен 8 м.

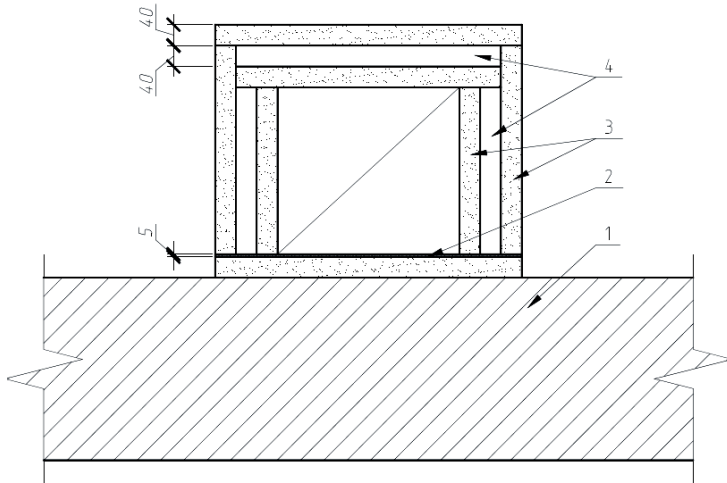


Рис. 2.3. Конструкция горизонтального канала с двумя стенками:
 1 – плита перекрытия; 2 – стяжка из цементного раствора;
 3 – гипсошлаковые плиты; 4 – воздушная прослойка

Вытяжная шахта для выброса воздуха должна быть выведена:

- при расстоянии от шахты до конька до 1,5 м – выше конька не менее чем на 0,5 м;
- при расстоянии от шахты до конька от 1,5 м до 3 м – не ниже конька;
- при расстоянии от шахты до конька свыше 3 м – не ниже линии, проведенной от конька вниз под углом 10° к горизонту.

В бесчердачных жилых зданиях вентиляционные каналы часто выводят без объединения в сборный воздухопровод.

В зданиях с числом этажей свыше пяти допускается объединение отдельных вертикальных вытяжных каналов из каждой четырех-пяти этажей в один сборный магистральный канал (рис. 2.4).

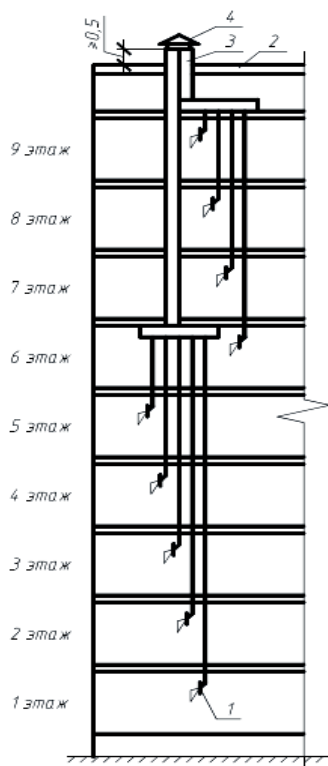


Рис. 2.4. Схема вытяжных каналов, объединенных на этаже и на чердаке:
 1 – жалюзийная решетка; 2 – кровля; 3 – сборная вытяжная шахта;
 4 – зонт (или дефлектор)

2.2. Проектирование систем вентиляции

2.2.1. Расчетные условия

При проектировании систем вентиляции жилых зданий следует различать:

- оптимальные и допустимые параметры внутреннего воздуха помещений, принимаемые согласно ГОСТ 30494–2011;
- расчетные параметры внутреннего воздуха.

Допустимые параметры воздуха в обслуживаемой зоне помещений (табл. 2.1) должны обеспечиваться системами отопления и вентиляции в течение всего периода эксплуатации здания.

Расчетные параметры предназначены для расчета и проектирования систем вентиляции.

Т а б л и ц а 2.1. **Оптимальные и допустимые параметры внутреннего воздуха помещений жилых зданий**

Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
Холодный период года								
Жилая комната	20–22	18–24	19–20	17–23	45–30	60	0,15	0,2
Кухня	19–21	18–26	18–20	17–25	Н/Н	Н/Н	0,15	0,2
Туалет	19–21	18–26	18–20	17–25	Н/Н	Н/Н	0,15	0,2
Ванная, совмещенный санузел	24–26	18–26	23–27	17–26	Н/Н	Н/Н	0,15	0,2
Помещение для отдыха	20–22	18–24	19–21	17–23	45–30	60	0,15	0,2
Межквартирный коридор	18–20	16–22	17–19	15–21	45–30	60	Н/Н	Н/Н
Вестибюль, лестничная клетка	16–18	14–20	15–17	13–19	Н/Н	Н/Н	Н/Н	Н/Н
Кладовые	16–18	12–22	15–17	11–21	Н/Н	Н/Н	Н/Н	Н/Н
Теплый период года								
Жилая комната	22–25	20–28	22–24	18–27	60–30	65	0,2	0,3

Примечание. Н/Н – не нормируется.

В качестве расчетных параметров внутреннего воздуха при проектировании систем вентиляции следует принимать:

- температуру внутреннего воздуха t_{int} , °С;
- допустимую скорость движения воздуха v_{int} , м/с;
- относительную влажность воздуха ϕ_{int} , %.

В качестве расчетных параметров наружного воздуха принимают:

- температуру наружного воздуха t_{ext} , °С;
- скорость ветра v_{ext} , м/с.

Расчет систем вентиляции следует проводить на расчетные условия переходного периода с проверкой обеспечения нормативного воздухообмена помещений в холодный и теплый периоды года.

Расчетные параметры внутреннего воздуха для проектирования систем вентиляции приведены в табл. 2.2.

Т а б л и ц а 2.2. Расчетные параметры внутреннего воздуха, применяемые при проектировании систем вентиляции жилых зданий

Расчетная температура воздуха t_{int} , °С	Расчетная относительная влажность ϕ_{int} , %	Допустимая скорость движения воздуха v_{int} , м/с
Переходный и холодный периоды года		
20	45	0,2
Теплый период года		
22	60	0,3

Расчетные параметры наружного воздуха для проектирования систем вентиляции приведены в табл. 2.3.

Т а б л и ц а 2.3. Расчетные параметры наружного воздуха, применяемые при проектировании систем вентиляции жилых зданий

Населенный пункт	Расчетная температура воздуха t_{ext} , °С	Допустимая скорость движения воздуха v_{ext} , м/с
Переходный период года		
Для всех населенных пунктов	+5	0
Холодный период года		
Для всех населенных пунктов	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь
Теплый период года		
Для всех населенных пунктов	Температура воздуха обеспеченностью 0,95	0

2.2.2. Нормативный воздухообмен

Проектирование систем вентиляции жилых зданий следует производить с учетом обеспечения нормативного воздухообмена помещений в режиме обслуживания (в режиме эксплуатации с учетом проектной загруженности помещений) и в нерабочем режиме.

Величину нормативного воздухообмена (кратность воздухообмена) в отдельных помещениях жилых зданий следует принимать в соответствии с табл. 2.4.

Таблица 2.4. Нормативное значение воздухообмена в помещениях жилых зданий

Наименование помещения	Величина воздухообмена L , м ³ /ч
Спальня, общая, детская комнаты общей площадью квартиры на 1 человека менее 20 м ²	3 м ³ /ч на 1 м ² жилой площади
То же при общей площадью квартиры на 1 человека более 20 м ²	30 м ³ /ч на 1 м ² жилой площади, но не менее 0,35 л/ч
Кухня квартиры с электрической плитой	60 м ³ /ч
Кухня с газовой 2-конфорочной плитой	60 м ³ /ч
Кухня с газовой 3-конфорочной плитой	75 м ³ /ч
Кухня с газовой 4-конфорочной плитой	90 м ³ /ч
Ванная комната, душевая	25 м ³ /ч
Уборная	25 м ³ /ч
Совмещенный санузел	50 м ³ /ч
Библиотека, кабинет	0,5 л/ч
Кладовая, бельевая, гардеробная	0,2 л/ч

Требуемый воздухообмен отдельных квартир должен определяться из расчета заселения их одной семьей. Количественный состав семьи следует принимать на основании задания на проектирование.

При отсутствии информации допускается принимать количественный состав семьи равный количеству жилых комнат ($k = N$).

В квартирах общей площадью более 20 м² на 1 человека величину нормативного воздухообмена жилых комнат (L) следует определять из расчета 30 м³/ч на 1 проживающего по формуле

$$L_i = 30 k_i, \quad (2.1)$$

где k_i – расчетное количество человек, проживающих в i -й квартире.

В квартирах общей площадью менее 20 м² на 1 человека величину нормативного воздухообмена жилых комнат (L) следует определять из расчета 3 м³/ч на 1 м² площади жилых помещений F_i :

$$L_i = 3F_i. \quad (2.2)$$

При определении объема помещений их площадь следует определять по размерам, измеряемым между отделанными поверхностями стен и перегородок на уровне пола (без учета плинтусов). Высоту помещений следует определять по разности отметок чистого пола и потолка помещений.

В качестве расчетного воздухообмена квартиры следует принимать наибольшую из величин:

- суммарного нормативного воздухообмена жилых комнат (гостиные, спальные, кабинеты, библиотеки);
- суммарного нормативного воздухообмена кухни, санузлов (уборных, ванных, душевых), кладовых, гардеробных и т. п.

Технические решения систем вентиляции должны обеспечивать возможность регулируемого воздухообмена в пределах от расчетного воздухообмена в нерабочем режиме до расчетного воздухообмена в режиме обслуживания с учетом проектной загрузки помещений.

Пример 2.1. Определить требуемый воздухообмен в трехкомнатной квартире. Количество проживающих – 3 человека.

Схема планировки квартиры приведена на рис. 2.5.

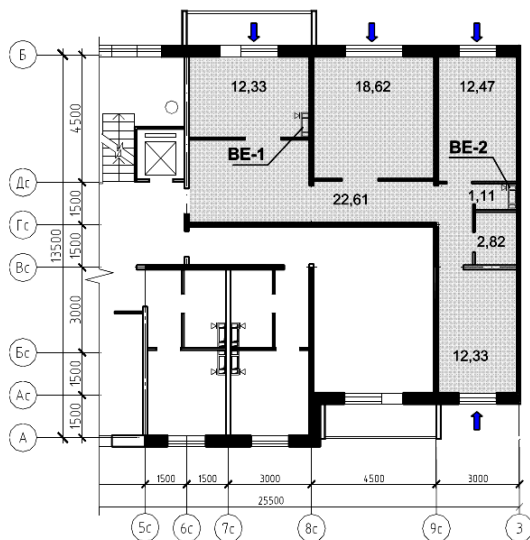


Рис. 2.5. Схематичная планировка квартиры

Исходные данные:

- общая площадь квартиры $F_{\text{общ}} = 82,29 \text{ м}^2$;
- площадь жилых помещений $F_{\text{жил}} = 43,42 \text{ м}^2$;
- площадь кухни $F_{\text{кх}} = 12,33 \text{ м}^2$;
- площадь ванной комнаты $F_{\text{вн}} = 2,82 \text{ м}^2$;
- площадь уборной $F_{\text{уб}} = 1,11 \text{ м}^2$;
- высота помещений $h = 2,6 \text{ м}$;
- на кухне установлена электроплита.

Геометрические характеристики:

- объем отапливаемых помещений $V = 221,8 \text{ м}^3$;
- объем жилых помещений $V = 112,9 \text{ м}^3$;
- объем кухни $V = 32,1 \text{ м}^3$;
- объем уборной $V = 2,9 \text{ м}^3$;
- объем ванной комнаты $V = 7,3 \text{ м}^3$.

Порядок расчета. Определяется общая площадь квартиры, приходящаяся на 1 человека:

$$f_{\text{общ}} = 82,29 / 3 = 27,43 \text{ м}^2.$$

В соответствии с табл. 2.4 в качестве нормативного воздухообмена жилых помещений в режиме эксплуатации принимается $L_{\text{тр}} = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 человека. Соответственно, требуемый воздухообмен жилых помещений

$$L_{\text{тр}}^{\text{жил}} = 30 \cdot 3 = 90 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Требуемый воздухообмен кухни с электроплитой (см. табл. 2.4)

$$L_{\text{тр}}^{\text{кх}} = 60 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Требуемый воздухообмен ванной комнаты (см. табл. 2.4)

$$L_{\text{тр}}^{\text{вн}} = 25 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Требуемый воздухообмен уборной (см. табл. 2.4)

$$L_{\text{тр}}^{\text{уб}} = 25 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Сопоставляем величины требуемого воздухообмена жилых помещений $L_{\text{тр}}^{\text{жил}} = 90 \text{ м}^3/\text{ч}$ и суммарного воздухообмена кухни, санузлов и кладовых $L_{\text{тр}}^{\text{кх+су+кл}} = 60 + 25 + 25 + 0 = 110,0 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В связи с тем что $L_{\text{тр}}^{\text{кх+су+кл}} > L_{\text{тр}}^{\text{жил}}$, в качестве расчетного воздухообмена квартиры принимается наибольшая величина $L_{\text{тр}}^{\text{раб}} = 110,0 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Таким образом, система вентиляции квартиры должна обеспечивать расчетный воздухообмен в режиме обслуживания $L_{\text{тр}}^{\text{раб}} = 110,0 \text{ м}^3/\text{ч}$.

2.2.3. Защита от шума

Нормативные требования по уровням шума в помещениях жилых зданий следует принимать в соответствии с ТКП 45-2.04-154–2009 [12].

Нормируемым параметром звукоизоляции наружных ограждающих конструкций (наружных стен, окон, дверей и др., в том числе с приточными и вытяжными вентиляционными устройствами) является звукоизоляция $R_{\text{Атран}}$, дБА, представляющая собой изоляцию внешнего шума, производимого потоком транспорта.

Требуемая звукоизоляция наружных ограждающих конструкций от транспортного шума $R_{\text{Атран}}^{\text{тр}}$, дБА, определяется в зависимости от назначения помещения и расчетного эквивалентного уровня транспортного шума у фасада здания $L_{\text{А2м}}$, дБА.

Нормативные значения $R_{\text{Атран}}^{\text{тр}}$ наружных ограждающих конструкций для ряда помещений жилых зданий приведены в табл. 9.2 [12].

Величину эквивалентного уровня транспортного шума у фасада здания $L_{\text{А2м}}$ следует принимать в соответствии с заданием на проектирование либо рассчитывать на основании карт шума улично-дорожной сети с учетом строительно-акустических мероприятий по снижению уровня шума транспортных потоков (экранов, зеленых насаждений, расстояния от фасада до проезжей части и др.).

Величину фактической звукоизоляции ограждающих конструкций $R_{\text{Атран}}$, дБА, следует принимать по результатам испытаний.

В системах вентиляции с притоком воздуха через стеновые или оконные клапаны, открывающиеся форточки, оконные фрамуги, створки (в том числе в режиме щелевого проветривания) величина звукоизоляции ограждающих конструкций должна определяться с учетом этих элементов, открытых в режиме обеспечения нормативного воздухообмена помещений – $R_{\text{Атран}}^{\text{вент}}$.

Справочные значения $R_{\text{Атран}}$ некоторых конструкций приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5. Справочные значения звукоизоляции некоторых ограждающих конструкций без приточных вентиляционных устройств

Характеристика конструкции	$R_{Атран}$, дБА
Оконный блок в одинарных переплетах из ПВХ-профилей толщиной 60 мм; заполнение светопрозрачной части – двухкамерные стеклопакеты СПД 4М ₁ -10-4М ₁ -10-4М ₁	29 (по результатам испытаний)
Оконный блок в одинарных переплетах из ПВХ-профилей толщиной 60 мм; заполнение светопрозрачной части – двухкамерные стеклопакеты СПД 4М ₁ -12-4М ₁ -12-4М ₁	30 (по результатам испытаний)
Оконный блок в одинарных переплетах из ПВХ-профилей шириной 70 мм; заполнение светопрозрачной части – двухкамерные стеклопакеты СПД 4М ₁ -12-4М ₁ -12-4М ₁	31 (по результатам испытаний)
Оконный блок в одинарных переплетах из ПВХ-профилей шириной 70 мм; заполнение светопрозрачной части – двухкамерные стеклопакеты СПД 4М ₁ -14-4М ₁ -14-4М ₁	32 (по результатам испытаний)
Оконный блок в отдельных переплетах из ПВХ-профилей; остекление внутреннего переплета – двухкамерные стеклопакеты СПД 4М ₁ -10-4М ₁ -10-4М ₁ ; остекление наружного переплета – однокамерные стеклопакеты СПО 4М ₁ -16-4М ₁	44 (по результатам испытаний)
Оконный блок из клееной древесины; толщина оконной коробки и створки – 90 мм; заполнение светопрозрачной части – двухкамерные стеклопакеты СПД 4М ₁ -16-4М ₁ -16-4М ₁	34 (по результатам испытаний)
Наружная стена из кирпича (кладка из обыкновенного глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе) толщиной 640 мм	52 (по расчетным данным)
Наружная стена из газобетонных блоков плотностью 600 кг/м ³ толщиной 400 мм	47 (по расчетным данным)

Показателем, характеризующим звукоизоляционные свойства непосредственно приточных вентиляционных устройств (проветривателей, стеновых или оконных клапанов), является приведенная разница уровней звукового давления $D_{n, e, w}(C; C_{tr})$, дБ, где C и C_{tr} – коэффициенты согласования, позволяющие учитывать различные спектры источников шума, таких как розовый шум и шум потока транспорта соответственно. Величину $D_{n, e, w}(C; C_{tr})$ принимают по результатам испытаний.

Характеристики звукоизоляции некоторых приточных вентиляционных устройств приведены в табл. 2.6.

Т а б л и ц а 2.6. Характеристики звукоизоляции некоторых приточных вентиляционных устройств (клапанов)

Характеристика приточного вентиляционного устройства	$D_{n,e,w}(C; C_{tr})$, дБ	
	В открытом состоянии	В закрытом состоянии
Стеновые вентиляционные клапаны		
Стеновой вентиляционный клапан «КИВ-125» (Финляндия)	40 (0; -4)*	48 (0; -4)*
Стеновое приточное устройство ЕНТ («Aegesco», Франция)	45 (-1; -3)**	–
Стеновой вентиляционный клапан «СВК В-75» (Россия)	51 (-2; -6)*	52 (-2; -6)*
Стеновой вентиляционный клапан «Pigmo Air» PA SN	37 (-1; -3)*	–
Оконные вентиляционные клапаны		
Оконный клапан ЕММ 3-30 («Aegesco», Франция)	36 (-1; -3)*	37 (-1; -4)*
Оконный клапан «VentAir II TR» (Польша)	38 (-1; -3)**	41 (-1; -3)**
Оконный клапан «Trimvent» («Titon», Англия)	33 (-1; 0)**	45 (-1; -2)**
Оконный клапан «Variglase» («Titon», Англия)	33 (0; -2)**	48 (-1; -1)**

*По результатам испытаний; **по данным производителя.

При отсутствии данных по результатам испытаний звукоизоляции ограждающих конструкций совместно с приточными вентиляционными устройствами допускается определять их характеристики путем расчета на основании известных данных по звукоизоляции отдельных частей (элементов) ограждающих конструкций ($R_{A\text{тран}}$) и звукоизоляции приточных вентиляционных устройств. Методика расчета представлена ниже.

2.2.3.1. Метод расчета звукоизоляции ограждающих конструкций зданий с учетом приточных вентиляционных клапанов

Сущность метода заключается в определении суммарной звукоизоляции ограждающей конструкции (стены, окна, дверного балконного блока) и элемента приточной системы вентиляции (стенowego или оконного приточного вентиляционного клапана), встроенного в эту ограждающую конструкцию.

Для реализации метода необходимо наличие данных о звукоизоляции ограждающей конструкции без учета приточного вентиляционного устройства $R_{A\text{тран}}$ и показателей приведенной звукоизоляции приточных вентиляционных устройств, встраиваемых в данную конструкцию, $D_{n,e,w}(C; C_{tr})$.

В общем случае величина звукоизоляции ограждающей конструкции с приточным вентиляционным устройством ($R_{\text{Атран}}^{\text{общ}}$, дБА) может быть рассчитана по формуле

$$R_{\text{Атран}}^{\text{общ}} = 10 \lg \frac{S}{\frac{S}{10^{0,1R_{\text{Атран}_i}}} + n \left(10^{\left(\frac{10 \lg \cdot A_0 - (D_{n.e.w} + C_{tr})}{10} \right)} \right)}, \quad (2.3)$$

где S – площадь рассчитываемой ограждающей конструкции, м²;
 $R_{\text{Атран}}$ – звукоизоляция ограждающей конструкции без учета приточного вентиляционного устройства, дБА;
 $D_{n.e.w} + C_{tr}$ – приведенная звукоизоляция приточного устройства с учетом спектра транспортного шума, дБА;
 A_0 – эквивалентная площадь звукопоглощения в рассчитываемом помещении, принимаемая равной 10 м²;
 n – количество приточных вентиляционных устройств с одинаковой приведенной звукоизоляцией.

Если наружная ограждающая конструкция включает в себя несколько элементов с различной звукоизоляцией (например, оконный блок и витраж) и приточное вентиляционное устройство, то общая звукоизоляция ($R_{\text{Атран}}^{\text{общ}}$) может быть рассчитана по формуле

$$R_{\text{Атран}}^{\text{общ}} = 10 \lg \frac{S_o}{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{10^{0,1R_{\text{Атран}_i}^{\text{ск}}}} + n \left(10^{\left(\frac{10 \lg \cdot A_0 - (D_{n.e.w} + C_{tr})}{10} \right)} \right)}, \quad (2.4)$$

где S_o – общая площадь ограждающей конструкции, м²;
 S_i – площадь i -й части ограждающей конструкции, м²;
 $R_{\text{Атран}_i}^{\text{ск}}$ – звукоизоляция i -й части ограждающей конструкции без учета приточного вентиляционного устройства, дБА.

В общем случае расчет звукоизоляции ограждающей конструкции с приточным вентиляционным устройством ($R_{\text{Атран}}^{\text{общ}}$) рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- определяются тип и площадь рассчитываемой конструкции (замеры площади – по наименьшим размерам в «свету»);
- по результатам испытаний или по табл. 2.5 принимается значение звукоизоляции ограждающей конструкции без учета приточного вентиляционного устройства ($R_{\text{Атран}}$);

- принимается тип (марка) и количество приточных вентиляционных устройств;

- по результатам испытаний или по табл. 2.6 принимается значение приведенной звукоизоляции приточного устройства с учетом спектра транспортного шума ($D_{n.e.w} + C_{tr}$);

- по формуле (2.3) рассчитывается звукоизоляция ограждающей конструкции совместно с приточным вентиляционным устройством;

- значение $R_{Атран}^{общ}$ сопоставляется с требуемой величиной $R_{Атран}^{тр}$; в том случае, если $R_{Атран}^{общ} \geq R_{Атран}^{тр}$, конструкция соответствует требованиям норм; если $R_{Атран}^{общ} < R_{Атран}^{тр}$, необходимо либо подобрать другой тип приточного вентиляционного устройства (с большим значением $D_{n.e.w} + C_{tr}$), либо применить ограждающую конструкцию с более высоким значением $R_{Атран}$.

Определение $R_{Атран}^{общ}$ с учетом звукоизоляции ограждающей конструкции и приточного устройства может быть выполнено по номограмме, представленной на рис. 2.6.

Пример 2.2. Определить звукоизоляцию оконного блока с оконным вентиляционным клапаном.

Исходные данные:

- оконный блок из ПВХ-профилей – ОП ОСП 15-15 с двухкамерными стеклопакетами из обычного стекла СПД 4М₁-142-4М₁-14-4М₁, звукоизоляция оконного блока без приточного клапана по результатам испытаний $R_{Атран} = 32$ дБА;

- оконный вентиляционный клапан, установленный в створке оконного блока, $D_{n.e.w}$ (C ; C_{tr}) = 36 (-1; -3), приведенная звукоизоляция приточного клапана в открытом состоянии ($D_{n.e.w} + C_{tr}$) = 36 - 3 = 33 дБА (см. табл. 2.6).

Порядок расчета. Рассчитываем общую величину звукоизоляции оконного блока с оконным вентиляционным клапаном по формуле (2.3):

$$R_{Атран}^{общ} = 10 \lg \frac{2,25}{10^{0,1 \cdot 32} + 1 \cdot \left(10^{\left(\frac{10 \lg \cdot 10 - 33}{10} \right)} \right)} = 25,4 \text{ дБА.}$$

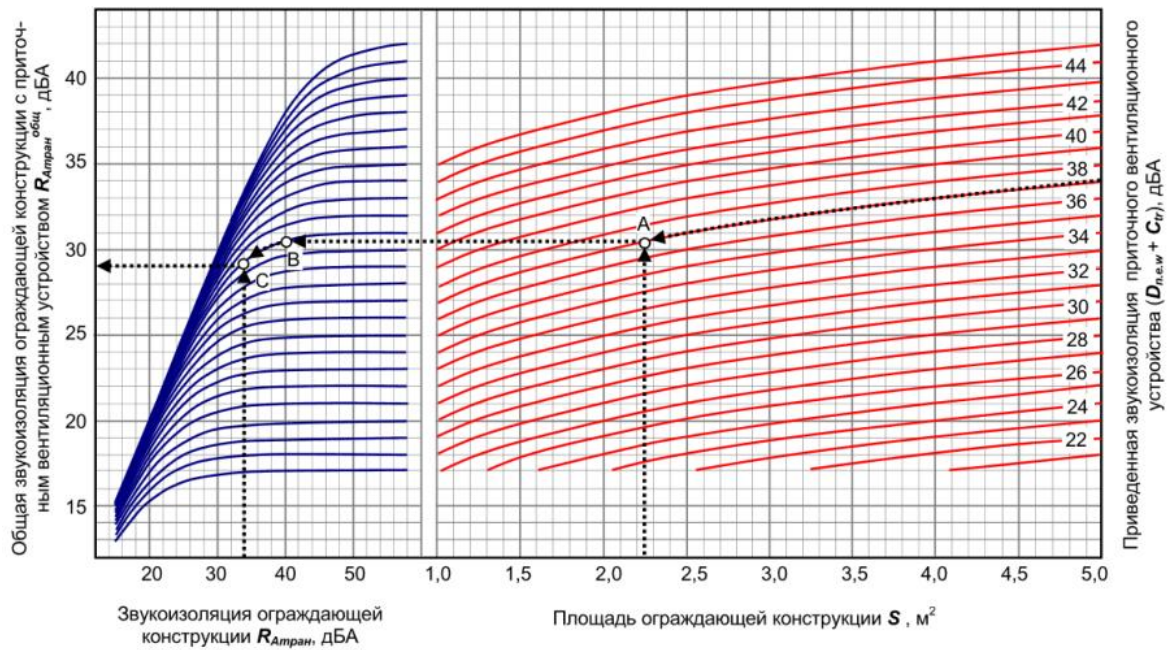


Рис. 2.6. Номограмма для расчета звукоизоляции ограждающей конструкции с приточным вентиляционным устройством

Пример 2.3. Определить звукоизоляцию стены с оконным блоком и стеновым вентиляционным клапаном.

Исходные данные:

- наружная стена из кирпичной кладки толщиной 640 мм, $R_{\text{Атран}} = 52$ дБА, $S_{\text{стены}} = 12 \text{ м}^2$;

- оконный блок из ПВХ-профилей – ОП ОСП 15-15 с двухкамерными стеклопакетами из обычного стекла СПД 4М₁-14-4М₁-14-4М₁, $S_{\text{окна}} = 2,25 \text{ м}^2$;

- стеновой вентиляционный клапан, установленный в наружной стене, $D_{n.e.w} (C; C_{tr}) = 51 (-2; -6)$, $(D_{n.e.w} + C_{tr}) = 51 - 6 = 45$ дБА.

Порядок расчета. Рассчитываем общую звукоизоляцию стены и оконного блока по формуле

$$R_{\text{Атран}}^{\text{ст+ок}} = 10 \lg \frac{S_{\text{общ}}}{\frac{S_{\text{ст}}}{10^{0,1 R_{\text{Атран}}^{\text{ст}}}} + \frac{S_{\text{ок}}}{10^{0,1 R_{\text{Атран}}^{\text{ок}}}}} \quad (2.5)$$

$$R_{\text{Атран}}^{\text{ст+ок}} = 10 \lg \frac{14,25}{\frac{12}{10^{0,1 \cdot 52}} + \frac{2,25}{10^{0,1 \cdot 32}}} = 39,8 \text{ дБА.}$$

Рассчитываем общую величину звукоизоляции ограждающей конструкции:

$$R_{\text{Атран}}^{\text{общ}} = 10 \lg \frac{14,25}{\frac{14,25}{10^{0,1 \cdot 39,8}} + 1 \cdot \left(10^{\left(\frac{10 \lg \cdot 10 - 45}{10} \right)} \right)} = 39,0 \text{ дБА.}$$

2.2.4. Организация воздухообмена

В жилых зданиях следует предусматривать системы вентиляции с организованным притоком и организованным удалением воздуха.

Подачу чистого воздуха следует предусматривать в жилые помещения (гостиные, спальни, детские комнаты, кабинеты), удаление загрязненного воздуха следует предусматривать из вспомогательных помещений (кухонь, санузлов, кладовых, гардеробных, постирочных).

Схема распределения воздушных потоков должна обеспечивать зонирование квартиры по чистоте помещений, исключая перетекание воздуха из «грязных» помещений в «чистые».

Пример расположения приточных и вытяжных вентиляционных устройств в квартире, обеспечивающих зонирование помещений по чистоте воздуха, приведен на рис. 2.7.

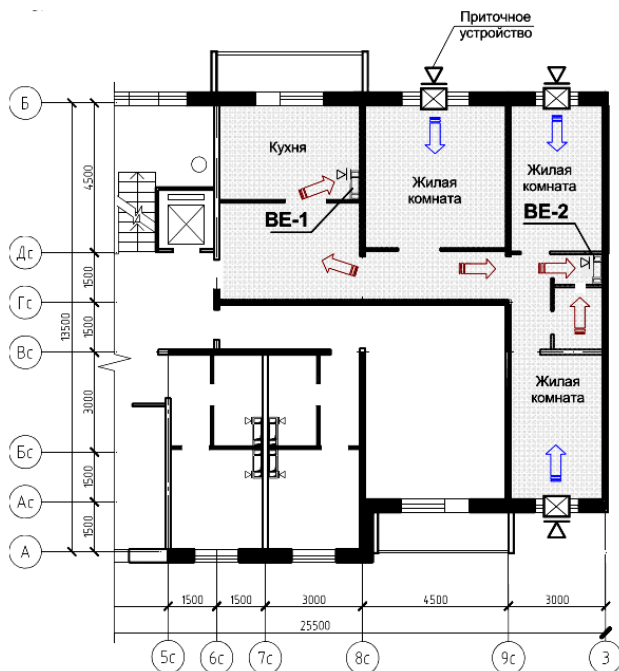


Рис. 2.7. Расстановка приточных и вытяжных вентиляционных устройств в квартире

Движение воздуха в системах вентиляции может обеспечиваться за счет естественного побуждения (тепловые и ветровые перепады давлений), за счет искусственных источников (механические системы вентиляции) либо за счет их сочетания.

Возможные схемы организации воздухообмена:

- с притоком и удалением воздуха за счет естественного побуждения (системы с созданием пониженного давления в помещениях квартиры вытяжной вентиляцией, действующей за счет тепловых и ветровых перепадов давлений);

- с децентрализованным удалением воздуха за счет механического побуждения вытяжными вентиляторами, устанавливаемыми в вытяжных каналах квартир, и децентрализованным естественным притоком воздуха в жилые помещения (системы с созданием пониженного давления в помещениях квартир);

- с централизованным удалением воздуха за счет механического побуждения вытяжной системой вентиляции и децентрализованным естественным притоком воздуха в жилые помещения (так называемые гибридные системы);

- с притоком воздуха за счет механического побуждения и удалением воздуха через вытяжные вентиляционные каналы с естественным побуждением (системы с созданием подпора воздуха в жилых комнатах квартир);

- с механическим притоком и удалением воздуха (системы приточно-вытяжной механической вентиляции с регулируемым балансом по приточному и вытяжному воздуху).

Приток чистого воздуха в помещения должен осуществляться посредством приточных вентиляционных устройств (стеновых или оконных клапанов), оконных створок, фрамуг или форточек либо через воздухораспределительные устройства приточных систем вентиляции с механическим побуждением.

Удаление загрязненного воздуха должно осуществляться через вытяжные вентиляционные каналы (встроенные или пристроенные), расположенные в строительных конструкциях здания, или самостоятельные вытяжные воздуховоды (каналы) систем вытяжной вентиляции.

Приток воздуха следует предусматривать:

- в системах без подогрева приточного воздуха – в верхнюю зону помещений, обеспечивая возможность смешивания холодного приточного воздуха с нагретым воздухом помещений;

- в системах с подогревом приточного воздуха за счет отопительных приборов системы отопления – за (или над) отопительными приборами, обеспечивая возможность смешивания приточного воздуха с теплым воздухом от отопительных приборов;

- в системах с подогревом воздуха в приточных вентиляционных устройствах встроенными нагревателями (системы с децентрализованным притоком) – в верхнюю или нижнюю зону помещений;

- в системах механической вентиляции с централизованным подогревом приточного воздуха – в верхнюю или нижнюю зону помещения через воздухораспределительные плафоны и решетки.

Удаление загрязненного воздуха следует предусматривать из верхней зоны вспомогательных помещений через вентиляционные решетки, располагаемые на расстоянии не ниже 2 м от пола до низа решетки.

2.2.5. Системы вентиляции

Системы вентиляции жилых зданий должны обеспечивать нормативный воздухообмен помещений с учетом возможности его регулирования в процессе эксплуатации.

Выбор системы вентиляции для конкретного здания осуществляется проектной организацией с учетом назначения и планировочного решения здания, его этажности, расчетного уровня транспортного шума у фасада здания, обеспечения нормативных показателей.

Системы вентиляции с притоком и удалением воздуха за счет естественного побуждения допускается проектировать в жилых зданиях при их расположении внутри кварталов с уровнем транспортного шума у фасада L_{A2m} не более 60 дБА.

В теплый период года данные системы должны предусматривать проветривание через открывающиеся оконные фрамуги, створки или форточки.

При необходимости (по результатам аэродинамического расчета) вытяжные каналы квартир верхних этажей могут оснащаться индивидуальными вытяжными вентиляторами с обратными клапанами.

Принципиальная схема системы вентиляции с естественным побуждением приведена на рис. 2.8.

При уровне транспортного шума у фасада здания L_{A2m} более 60 дБА следует проектировать системы вентиляции с механическим побуждением притока или вытяжки. В частности:

- с децентрализованным удалением воздуха за счет механического побуждения вытяжными вентиляторами, устанавливаемыми в вытяжных каналах квартир, и естественным децентрализованным притоком воздуха в жилые помещения;

- с централизованным удалением воздуха за счет механического побуждения вытяжными вентиляторами, устанавливаемыми на оголовках вентиляционных шахт (или в чердачном пространстве), и естественным децентрализованным притоком воздуха в жилые помещения;

- с притоком воздуха за счет механического побуждения и удалением воздуха через вытяжные вентиляционные каналы с естественным побуждением.

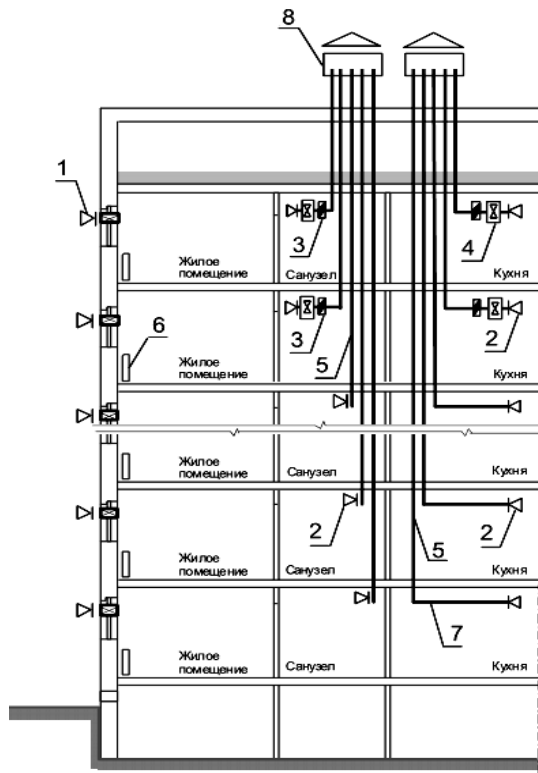


Рис. 2.8. Система вентиляции жилого здания с естественным побуждением движения воздуха: 1 – приточное вентиляционное устройство; 2 – вытяжная вентиляционная решетка; 3 – обратный клапан; 4 – вытяжной вентилятор; 5 – вертикальный вентиляционный канал; 6 – прибор системы отопления; 7 – горизонтальный вентиляционный канал; 8 – дефлектор

Принципиальные схемы систем вентиляции с механическим побуждением удаления или притока воздуха приведены на рис. 2.9.

Системы вентиляции с механическим побуждением притока и удаления воздуха следует проектировать при соответствующем технико-экономическом обосновании, как правило, с применением установок утилизации тепла вытяжного воздуха.

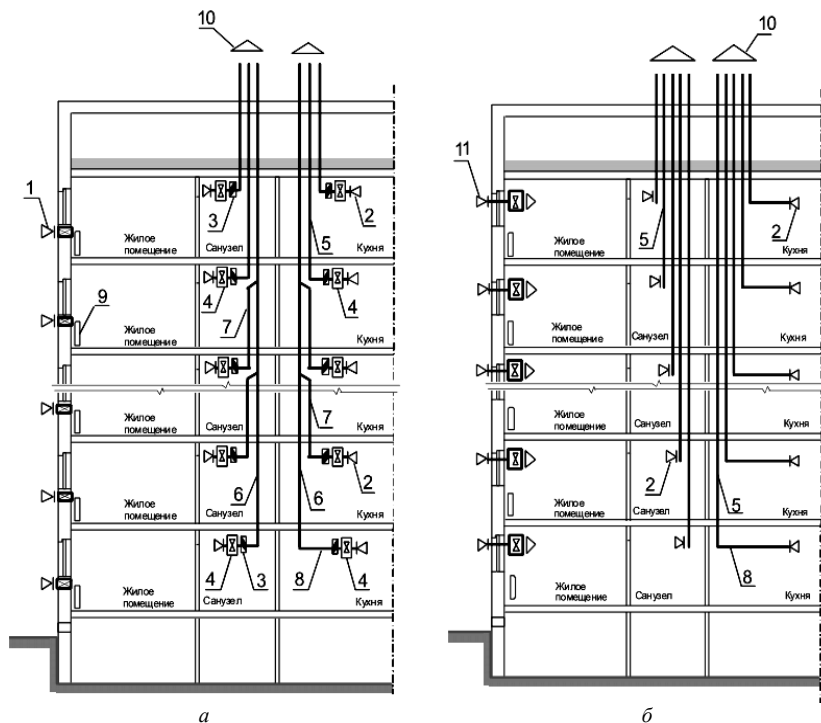


Рис. 2.9. Системы вентиляции жилого здания с механическим побуждением удаления воздуха (а) и с децентрализованным механическим побуждением притока воздуха (б):
 1 – приточное вентиляционное устройство; 2 – вытяжная вентиляционная решетка;
 3 – обратный клапан; 4 – вытяжной вентилятор с регулируемым количеством оборотов;
 5 – вертикальный вентиляционный канал; 6 – сборный вентиляционный канал;
 7 – канал-спутник; 8 – горизонтальный вентиляционный канал (воздуховод);
 9 – прибор системы отопления; 10 – зонт; 11 – приточное вентиляционное устройство со встроенным вентилятором

Системы вентиляции с механическим побуждением могут быть как центральными – с одной или несколькими системами на здание, так и с поквартирным размещением приточных и вытяжных систем.

Принципиальные схемы систем вентиляции с механическим побуждением приведены на рис. 2.10.

Кухни или кухни-ниши в помещениях без естественного освещения должны быть оборудованы вытяжной вентиляцией с механическим побуждением.

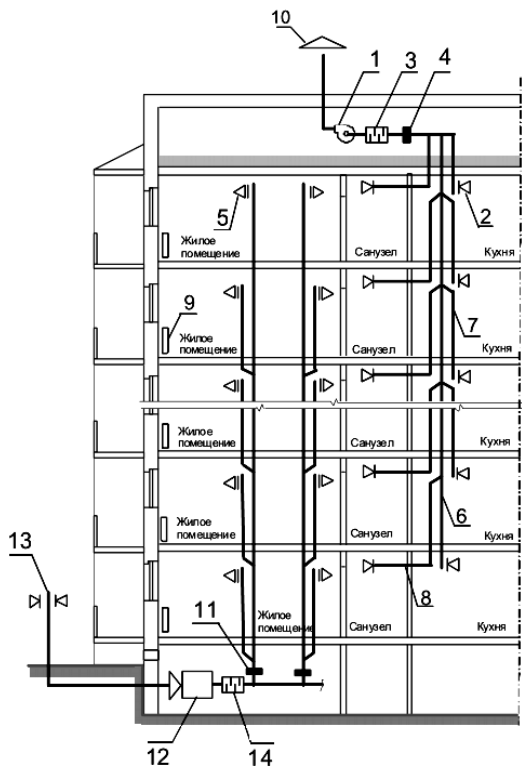


Рис. 2.10. Система вентиляции с механическим притоком и удалением воздуха:
 1 – радиальный вентилятор; 2 – вытяжная вентиляционная решетка; 3 – шумоглушитель;
 4 – огнезащитный клапан; 5 – приточная вентиляционная решетка; 6 – сборный
 вентиляционный канал; 7 – канал-спутник; 8 – горизонтальный вентиляционный канал;
 9 – прибор системы отопления; 10 – зонт; 11 – огнезащитный клапан; 12 – приточная
 вентиляционная установка с подогревом воздуха; 13 – воздухозаборная шахта;
 14 – шумоглушитель

Системы вентиляции жилых зданий должны обеспечивать возможность индивидуального регулирования величины воздухообмена квартир и (или) отдельных помещений с учетом режима их эксплуатации.

Регулирование может обеспечиваться за счет ручного или автоматического управления:

- расходом приточного воздуха, подаваемого в помещения;
- расходом удаляемого воздуха.

Вентиляторы систем механической вентиляции (как централизованной, так и децентрализованной) должны иметь регулируемый привод и обеспечивать ступенчатое или плавное изменение производительности.

Воздухозаборные устройства приточных систем вентиляции следует размещать на расстоянии не менее 1 м от уровня устойчивого снегового покрова, определяемого по данным гидрометеостанций или расчетом.

Проектом должна предусматриваться защита воздухозаборных устройств от загрязнения взвешенными примесями растительного происхождения.

Для удаления воздуха из помещений следует предусматривать вытяжные вентиляционные каналы (воздуховоды), встроенные в строительные конструкции, или в виде отдельно стоящих вентиляционных блоков, располагаемых в санузлах, кухне и кладовых. Со стороны помещения вход в вытяжные каналы должен закрываться регулируемыми вентиляционными решетками или регулируемыми вентиляционными клапанами.

При проектировании уборной и ванной отдельными вытяжные каналы следует располагать в уборной. При этом в перегородке между уборной и ванной должно быть предусмотрено переточное отверстие площадью не менее $0,014 \text{ м}^2$, закрытое вентиляционной решеткой.

Для обеспечения перетекания воздуха из коридоров к вытяжным вентиляционным каналам двери кухонь, ванн, туалетов и подсобных помещений должны иметь подрезку (не менее 0,02 м высотой) или переточные решетки, встроенные в дверное полотно, с живым сечением не менее $0,014 \text{ м}^2$.

Вытяжные вентиляционные каналы из отдельных помещений целесообразно объединять в вентиляционные блоки.

В системах вентиляции с естественным побуждением притока и удаления воздуха вентиляционные каналы предпочтительно выполнять отдельными, без вертикальных и горизонтальных сборных каналов.

В многоэтажных зданиях (выше шести этажей) вентиляционные каналы различных этажей рекомендуется присоединяться к сборному вертикальному каналу. Присоединение каналов-спутников к сборному каналу в этом случае должно производиться через этаж; высота канала-спутника должна быть не менее 2 м.

Вентиляционные каналы двух верхних этажей следует выполнять отдельными – без подключения к сборному каналу.

Для повышения устойчивости аэродинамическое сопротивление каналов-спутников при расчетном расходе удаляемого воздуха должно составлять не менее 6 Па.

Вертикальные сборные каналы допускается предусматривать как общими, так и отдельными для кухонь и санузлов, расположенных друг под другом на этажах здания.

В случае использования общего вертикального сборного канала вытяжные устройства из кухонь и санитарных узлов должны присоединяться через отдельные спутники.

Оголовки вентиляционных каналов систем естественной вентиляции (вентиляционные шахты) для улучшения вытяжки рекомендуется оснащать дефлекторами.

За пределами отапливаемых помещений вентиляционные каналы (вентиляционные блоки) должны быть теплоизолированы. Термическое сопротивление слоя теплоизоляции должно составлять не менее $1,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Не допускается размещать вентиляционные каналы в наружных стенах.

Для проветривания квартир в теплый период года следует предусматривать открывающиеся окна (створки окон), форточки или фрамуги.

При остеклении лоджий или веранд приточные устройства (клапаны) должны устанавливаться дополнительно в стенках или остеклении лоджий – для обеспечения притока воздуха через лоджии в жилые помещения.

При подключении кухонных вытяжек к вытяжным каналам следует предусматривать обводную линию с дополнительной вентиляционной решеткой, оснащенной обратным клапаном. Пример подключения кухонных вытяжек приведен на рис. 2.11.

В наружных стенах технических подполий и подвального этажа следует предусматривать продухи площадью не менее $0,04 \text{ м}^2$ каждый с устройствами для регулирования их площади (вплоть до полного закрытия). Общая площадь продухов должна обеспечивать не менее чем 0,5-кратный обмен воздуха в час.

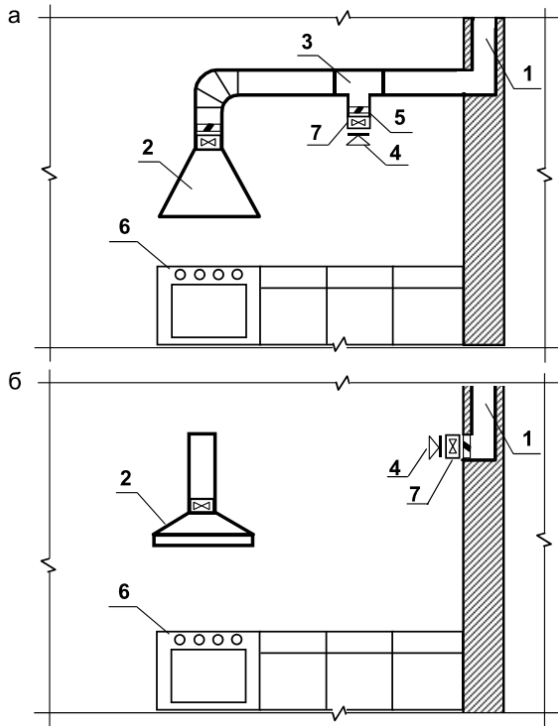


Рис. 2.11. Схемы подключения кухонных вытяжек к вентиляционным каналам:
a – вентиляционный зонт со встроенным вентилятором;
б – автономный вентиляционный зонт;
 1 – вентиляционный канал; 2 – кухонная вытяжка; 3 – тройник;
 4 – вытяжная вентиляционная решетка; 5 – обратный клапан;
 6 – кухонная плита; 7 – вытяжной вентилятор

2.2.6. Аэродинамический расчет систем вентиляции

Аэродинамический расчет вентиляционной системы производят для подбора размеров поперечных сечений воздуховодов по рекомендуемым скоростям движения воздуха и определения потерь давления в системе. Потери давления в системах вентиляции ($\Delta P_{\text{сети}}$, Па) складываются из потерь давления на трение ($\Delta P_{\text{тр}}$) и потерь давления в местных сопротивлениях (Z):

$$\Delta P_{\text{сети}} = \Delta P_{\text{тр}} + Z. \quad (2.6)$$

Потери давления на трение ($\Delta P_{\text{тр}}$, Па) определяются по формуле

$$\Delta P_{\text{тр}} = R l n, \quad (2.7)$$

где R – удельные потери давления на трение в гидравлически гладком канале, Па/м;

l – длина участка воздуховода, м;

n – поправочный коэффициент, который зависит от абсолютной эквивалентной шероховатости воздуховодов.

Удельные потери давления на трение (R , Па/м) определяют по формуле

$$R = \frac{\lambda_{\text{т}}}{d_3} P_{\text{д}}, \quad (2.8)$$

где $\lambda_{\text{т}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления трению для гидравлически гладкого канала;

d_3 – эквивалентный (гидравлический) диаметр воздуховода, м;

$P_{\text{д}}$ – динамическое давление, Па.

Коэффициент гидравлического сопротивления трению для гидравлически гладкого канала при турбулентном режиме течения рассчитывается по закону Блазиуса:

$$\lambda_{\text{т}} = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}, \quad (2.9)$$

где Re – критерий Рейнольдса.

Критерий Рейнольдса определяют по формуле

$$Re = \frac{v d}{\nu}, \quad (2.10)$$

где v – скорость движения воздуха в воздуховоде, м/с;

ν – кинематическая вязкость воздуха, м²/с.

Динамическое давление ($P_{\text{д}}$, Па) определяют по формуле

$$P_{\text{д}} = \frac{\rho v^2}{2}. \quad (2.11)$$

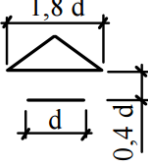
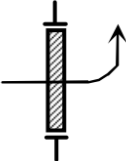
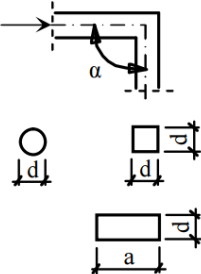
Потери давления в местных сопротивлениях (Z , Па) определяют по следующей формуле:

$$Z = \sum \xi \frac{\rho v^2}{2} = \sum \xi P_d, \quad (2.12)$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке воздуховода; коэффициенты местных сопротивлений на границе двух участков относят к участку с меньшим расходом и определяют по таблицам местных сопротивлений (табл. 2.7); .

ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Т а б л и ц а 2.7. Коэффициенты местных сопротивлений для различных элементов воздуховодов

Сопротивление	Эскиз	Коэффициент местного сопротивления				
1	2	3				
Вытяжная шахта с зонтом		$\xi = 1,3$				
Вход в жалюзийную решетку с поворотом		$\xi = 1,3$				
Колено круглое, квадратное и прямоугольное		α	30	45	60	90
		ξ	0,16	0,32	0,56	1,2
		Для прямоугольных колен умножить на c				
		d/a	0,25	0,5	1	1,5
		c	1,1	1,07	1	0,95

1	2	3					
Тройник под углом 90° на вытяжке воздуха		Для прохода воздуха					
		F_{II} / F_C	ξ при L_{II} / L_O				
			0,2	0,4	0,6	0,7	0,8
		0,1	0,5	1,5	4,4	8,4	20
		0,4	0,4	1	2,8	5,2	12,3
		1	0,4	0,7	1,6	2,8	6,3
		Для ответвления					
		F_O / F_{II}	ξ при L_{II} / L_O				
			0,1	0,2	0,4	0,5	0,7
		0,1	0,3	0,9	1	1	1
0,2	-1,7	0,6	1	1	1		
0,4	-9,4	-0,6	1	1	1,1		
0,6	-21	-2,7	0,9	1,1	1,2		
Клапан		$\xi = 0,1$					
Внезапное расширение		$\xi = \left(1 - \frac{f}{F}\right)^2$					
Внезапное сужение		$\xi = 0,5 \left(1 - \frac{f}{F}\right)$					

При расчетах удельных потерь давления на трение, Па/м, можно пользоваться номограммами (рис. 2.12) или справочными таблицами (табл. 2.8), которые построены на основании формул (2.8)–(2.11), при различных скоростях для различных диаметров круглых металлических воздуховодов (при $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$), принимаемых гидравлически гладкими.

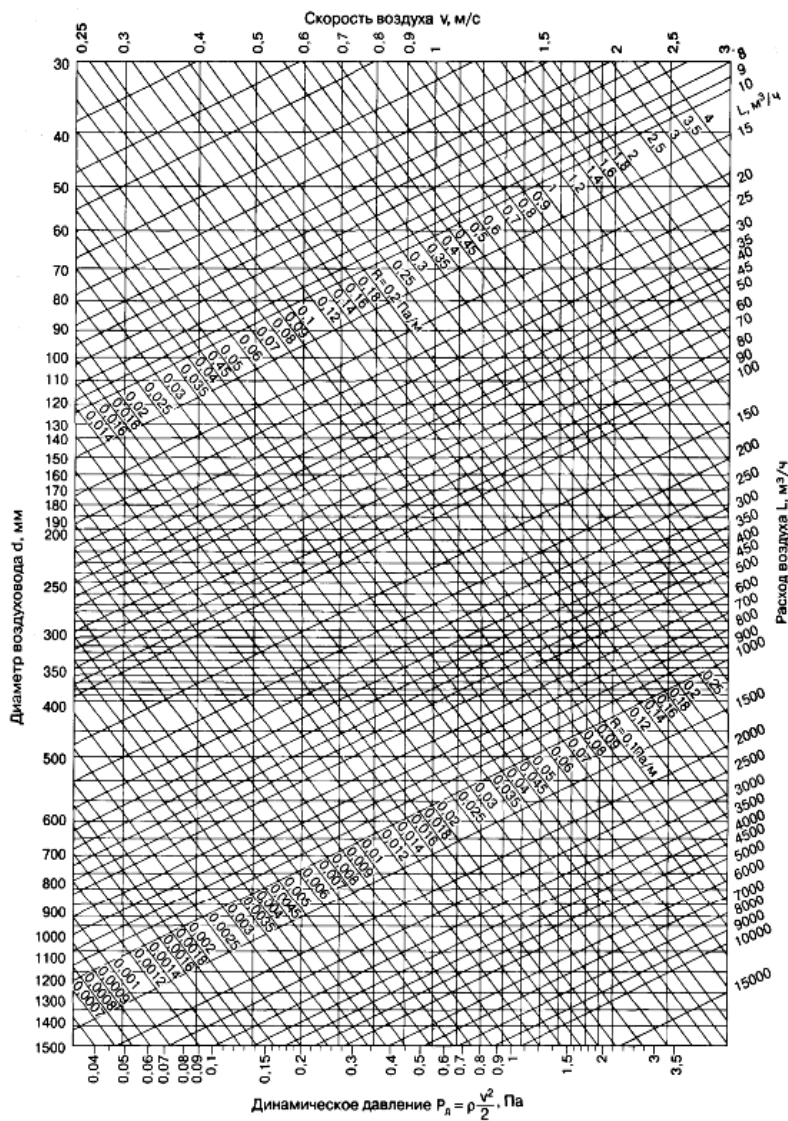


Рис. 2.12. Номограмма для определения потерь давления на трение в круглых воздуховодах для естественной вентиляции

Таблица 2.8. Таблица для расчета круглых стальных воздуховодов при $t_n = 20\text{ }^\circ\text{C}$

$\frac{v^2 \rho}{2}$, Па	v, м/с	Количество проходящего воздуха (верхняя строка), м ³ /ч, и потеря давления на трение (нижняя строка), Па/м, при внутреннем диаметре воздуховода, мм									
		100	110	125	140	160	180	200	225	250	280
0,006	0,1	2,8	3,4	4,42	5,64	7,2	9,2	11,3	14,3	18	22
		0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
0,0245	0,2	5,6	6,8	8,8	11,1	14,5	18,3	22,6	28,6	35	44
		0,01	0,01	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004
0,054	0,3	8,4	10,2	13,3	16,8	21,7	27,5	33,9	42,9	53	66
		0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,008
0,096	0,4	11,3	13,7	17,7	22,1	28,9	36,6	45,0	57,2	71	89
		0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
0,15	0,5	14,1	17,1	22,1	27,7	36,2	45,8	56,3	71,5	88	111
		0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
0,215	0,6	16,9	20,5	26,5	33,2	43,4	54,9	67,8	85,8	106	133
		0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
0,294	0,7	19,8	23,9	30,9	38,8	50,0	64,1	79,1	100	124	155
		0,12	0,1	0,09	0,03	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03
0,382	0,8	22,6	27,3	36,3	44,0	57,9	73,2	90,4	114	141	177
		0,15	0,13	0,11	0,01	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04
0,490	0,9	25,4	30,8	39,7	49,8	65,1	82,4	102	129	159	199
		0,18	0,16	0,14	0,12	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
0,600	1,0	28,4	34,2	44,2	56,4	72,3	91,6	113	143	177	222
		0,22	0,19	0,17	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06

Если пользоваться указанными таблицами и номограммами для воздуховодов из других материалов, необходимо вводить поправочный коэффициент n , который зависит от материала воздуховода и скорости движения воздуха и определяется по табл. 2.9 или по формуле

$$n = \frac{\lambda_{ш}}{\lambda_T}, \quad (2.13)$$

где $\lambda_{ш}$ – коэффициент сопротивления трению с учетом шероховатости канала (воздуховода); рассчитывается по формуле Альтшуля:

$$\lambda_{ш} = 0,11 \left(\frac{k_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (2.14)$$

где k_3 – абсолютная эквивалентная шероховатость поверхности воздуховода (табл. 2.10).

Т а б л и ц а 2.9. Коэффициент шероховатости поверхности канала

Скорость движения воздуха, м/с	Материал воздуховода			
	Шлакогипс	Шлакобетон	Кирпич	Штукатурка по сетке
0,2	1,04	1,06	1,15	1,31
0,4	1,08	1,11	1,25	1,48
0,6	1,11	1,16	1,33	1,6
0,8	1,13	1,19	1,4	1,69
1	1,16	1,23	1,46	1,77
1,2	1,18	1,25	1,5	1,84
1,4	1,2	1,28	1,55	1,95
1,6	1,22	1,31	1,58	1,95
2	1,25	1,35	1,65	2,04
3	1,32	1,43	1,77	2,2
4	1,37	1,49	1,86	2,32
5	1,41	1,54	1,93	2,41
6	1,44	1,58	1,98	2,48
7	1,47	1,61	2,03	2,54
8	1,49	1,64	2,06	2,58
9	1,51	1,66	2,1	2,62
10	1,53	1,68	2,12	2,66
11	1,54	1,7	2,15	2,69

Т а б л и ц а 2.10. Абсолютная эквивалентная шероховатость материалов, применяемых для изготовления воздуховодов

Материал	k_s , мм
Листовая сталь	0,1
Асбестоцементные плиты или трубы	0,11
Фанера	0,12
Шлакоалебастровые плиты	1
Шлакобетонные плиты	1,5
Кирпич	4
Штукатурка	10

Для воздуховодов прямоугольного сечения за расчетную величину d принимают эквивалентный диаметр d_s , мм, при котором потери давления в круглом воздуховоде при той же скорости будут равны потерям давления в прямоугольном воздуховоде:

$$d_s = \frac{2ab}{a + b}, \quad (2.15)$$

где a , b – стороны прямоугольного воздуховода или канала, мм.

Аэродинамический расчет вентиляционной системы состоит из двух этапов:

1) расчет участка основного направления магистрали (наиболее протяженной и нагруженной ветви воздухопроводов);

2) увязка всех остальных участков системы.

При невозможности увязки потерь давления по ответвлениям воздухопроводов в пределах 10–15 % следует устанавливать диафрагмы. Диафрагма (металлическая пластина с отверстием) – местное сопротивление, на котором гасится избыточное давление. Коэффициент местного сопротивления диафрагмы определяется по формуле

$$\xi_{\text{диафр}} = \frac{\Delta P_{\text{неувязки}}}{P_{\text{д}}} = \frac{\Delta P_{\text{расп}} - \Delta P_{\text{отв}}}{P_{\text{д}}}, \quad (2.16)$$

где $P_{\text{д}}$ – динамическое давление на участке, на котором устанавливается диафрагма, Па;

$\Delta P_{\text{расп}}$ – располагаемые потери давления на ответвлении, Па;

$\Delta P_{\text{отв}}$ – потери давления на увязываемом ответвлении, Па.

По значению ξ и по размерам воздуховода, на котором устанавливается диафрагма, подбирают размер диафрагмы.

Аэродинамический расчет систем вентиляции выполняют после расчета воздухообмена в помещениях и принятия решения по трассировке воздухопроводов и каналов и конкретизации местных сопротивлений вдоль них. Для проведения аэродинамического расчета на основе архитектурно-строительной и технологической частей проекта вычерчивают аксонометрическую схему системы вентиляции, по которой определяют протяженность отдельных ее ветвей и размещают элементы сети.

Схему разбивают на отдельные расчетные участки. Расчетный участок характеризуется постоянным расходом воздуха.

Потери давления на участке зависят от скорости движения воздуха и складываются из потерь на трение и потерь в местных сопротивлениях.

Намечается основное расчетное направление, представляющее собой цепочку последовательно расположенных участков от начала системы до наиболее удаленного ответвления. При наличии нескольких цепочек, одинаковых по протяженности, за магистральное направление принимается наиболее нагруженное (имеющее больший расход).

Расчет выполняют по методу удельных потерь давления в следующей последовательности:

1. По известному расчетному расходу вентиляционного воздуха L определяют ориентировочное сечение канала (воздуховода) F' , м^2 , по формуле

$$F' = \frac{L}{3600 v_p}, \quad (2.17)$$

где L – расчетный расход воздуха в воздуховоде, $\text{м}^3/\text{ч}$;

v_p – предварительная скорость движения воздуха, $\text{м}/\text{с}$ (табл. 2.11).

Т а б л и ц а 2.11. Рекомендуемая скорость движения воздуха в системах естественной вентиляции

Элемент системы	Рекомендуемая скорость движения воздуха v_p , $\text{м}/\text{с}$
Горизонтальные каналы	0,5–1,0
Вертикальные каналы	0,5–1,0
Вытяжная шахта	1,0–1,5

2. Исходя из расчетной площади канала с учетом конструктивных соображений принимаем стандартные размеры сечения каналов (воздуховодов) по табл. 2.12.

Т а б л и ц а 2.12. Размеры вентиляционных каналов из различных материалов

Каналы в кирпичных стенах						
Размер, мм	Площадь поперечного сечения, м^2	Размер, мм	Площадь поперечного сечения, м^2	Размер, мм	Площадь поперечного сечения, м^2	
140×140	0,02	400×400	0,16	530×650	0,35	
140×270	0,038	400×530	0,21	530×790	0,42	
270×270	0,073	400×650	0,26	530×1060	0,56	
270×400	0,111	400×790	0,32	650×650	0,43	
270×530	0,143	530×530	0,28	650×790	0,52	
Сечения каналов из шлакогипсовых и шлакобетонных плит, м^2						
B, мм	A, мм					
	150	250	350	450	550	650
220	0,033	0,055	0,077	0,096	0,121	0,143
320	0,048	0,08	0,112	0,144	0,176	0,208
420	0,063	0,105	0,147	0,189	0,231	0,273
520	0,078	0,13	0,182	0,234	0,286	0,338
620	0,093	0,155	0,217	0,279	0,341	0,402
720	0,108	0,18	0,257	0,324	0,396	0,467
820	0,123	0,205	0,297	0,37	0,45	0,532
920	0,138	0,23	0,322	0,415	0,505	0,6

Круглые воздуховоды из листовой стали			
d , мм	Площадь поперечного сечения, м ²	d , мм	Площадь поперечного сечения, м ²
100	0,0079	630	0,312
125	0,0123	710	0,396
160	0,02	800	0,501
200	0,0314	900	0,635
250	0,049	1000	0,785
315	0,0615	1120	0,985
355	0,099	1250	1,23
400	0,126	1400	1,54
450	0,159	1600	2,01
500	0,96	1800	2,54
560	0,246	2000	3,14

3. Уточняют фактическую скорость движения воздуха по каналам v_{ϕ} , м/с, по формуле

$$v_{\phi} = \frac{L}{3600 F_{\text{ст}}}, \quad (2.18)$$

где $F_{\text{ст}}$ – стандартная площадь канала, м².

4. Определяют потери давления на преодоление сил трения по принятому сечению (диаметру) и заданному количеству воздуха по формуле (2.7).

5. Определяют гидравлические потери на местные сопротивления по участкам вентиляционной сети по формуле (2.12).

6. Определяют суммарные фактические гидравлические потери на всех участках, входящих в расчетную ветвь:

$$\Sigma(R l n + Z). \quad (2.19)$$

7. Производят увязку потерь давления по ответвлениям воздуховодов в пределах 10 % для естественной системы вентиляции.

2.2.7. Аэродинамический расчет систем естественной вентиляции

Цель расчета – подбор геометрических размеров вентиляционных каналов, обеспечивающих действительное гидравлическое сопротивление вентиляционной сети, не большее, чем располагаемое естественное давление.

За расчетное направление в системах с естественным движением воздуха принимают такое, удельные потери давления на котором имеют минимальную величину.

Удельные потери давления $R_{уд}$, Па/м, определяют по формуле

$$R_{уд} = \frac{P_{гр}}{\sum l}, \quad (2.20)$$

где $P_{гр}$ – гравитационное давление, действующее в вытяжных каналах соответствующих этажей, Па;

l – длина участка, м.

В системах с естественным движением воздуха требуется увязка действующих гравитационных давлений в каналах соответствующих этажей с потерями давлений на трение и местные сопротивления по пути движения воздуха от места входа его в сеть (вытяжные решетки) до выхода в атмосферу (устье вытяжной шахты):

$$P_{гр} \geq \sum(R l n + Z). \quad (2.21)$$

Гравитационное давление $P_{гр}$, Па, определяется по формуле

$$P_{гр} = h(\rho_n - \rho_v) 9,81, \quad (2.22)$$

где h – высота воздушного столба, м, принимается:

а) при наличии в здании только вытяжки – от середины решетки до устья вытяжной шахты;

б) при наличии в здании механического притока – от середины высоты помещения до устья вытяжной шахты;

ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м^3 , для общественных зданий принимается при $t_n = +5$ °С;

ρ_v – плотность воздуха в помещении, кг/м^3 .

Порядок аэродинамического расчета систем естественной вентиляции:

1. На планах размещают жалюзийные решетки, вертикальные каналы, горизонтальные короба и вытяжные шахты; вычерчивают аксонометрические схемы систем вентиляции. Аксонометрическая схема воздухопроводов естественной вентиляции должна быть построена так, чтобы со всех сторон вытяжной шахты было равное число вертикальных каналов и равные расходы воздуха. Количество вентиляционных систем определяется числом вытяжных шахт.

2. Расчет начинают от более неблагоприятно расположенной жалюзийной решетки. Обычно наиболее неблагоприятной является решетка, наиболее удаленная от вытяжной шахты.

Путь движения воздуха от этой жалюзийной решетки по каналам до вытяжной шахты и сама вытяжная шахта будут являться одной расчетной веткой.

3. Для естественной вытяжной вентиляции определяется располагаемое гравитационное давление для расчетной ветви ($P_{гр}$) по формуле (2.22).

4. По известному расходу вентиляционного воздуха (L) определяют ориентировочное сечение канала (F') по формуле (2.17).

5. Исходя из расчетной площади канала с учетом конструктивных соображений принимают стандартные размеры сечения каналов по табл. 2.12.

6. После этого уточняют фактическую скорость движения воздуха по каналам ($v_{ф}$) по формуле (2.18).

7. Определяют гидравлические потери на преодоление сил трения соответственно по принятому сечению и заданному расходу воздуха по формуле (2.7).

8. Определяют гидравлические потери на местные сопротивления по участкам вентиляционной сети по формуле (2.12).

9. Определяют суммарные фактические гидравлические потери на всех участках, входящих в расчетную ветвь ($P_{ф}$). При этом они не должны превышать располагаемого давления ($P_{р}$).

Если $P_{ф} > P_{р}$, то необходимо соответственно увеличить сечения отдельных участков вентиляционной сети. Если $P_{ф} < P_{р}$, то необходимо уменьшить сечения отдельных участков вентиляционной сети.

Невязка допускается 10 %.

$$\frac{P_{ф} - P_{р}}{P_{ф}} 100 \% \leq 10 \%. \quad (2.23)$$

10. После расчета главной расчетной ветви приступают к расчету ответвлений сети. Он производится аналогично расчету главной ветви. Расчет считается законченным, если потери давления в ответвлении не больше располагаемого давления в ответвлении. Невязка потерь в точках смешения потоков не должна превышать 10 %.

$$\frac{P_{\text{маг}} - P_{\text{отв}}}{P_{\text{маг}}} 100 \% \leq 10 \%. \quad (2.24)$$

Пример 2.4. Расчет естественной вытяжной системы вентиляции двухэтажного жилого дома.

Исходные данные:

1. Рассчитать естественную вытяжную систему вентиляции ванных комнат и санузлов двухэтажного жилого дома (рис. 2.13).

2. Воздуховодами служат каналы, располагаемые в толще кирпичных стен. Каналы на чердаке объединяются шлакоалебастровыми коробами.

3. По нормам воздухообмен составляет: из ванной комнаты – 25 м³/ч, из санузла – 25 м³/ч. Приток воздуха неорганизованный. Вытяжка воздуха производится из верхней зоны помещений на высоте 0,5 м от потолка.

4. Расчетная внутренняя температура $t_{в} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Расчетные длины участков 1–6 по схеме: $l_1 = 0,8\text{ м}$; $l_2 = 0,15\text{ м}$; $l_3 = 0,15\text{ м}$; $l_4 = 0,5\text{ м}$; $l_5 = 3,2\text{ м}$; $l_6 = 3,8\text{ м}$.

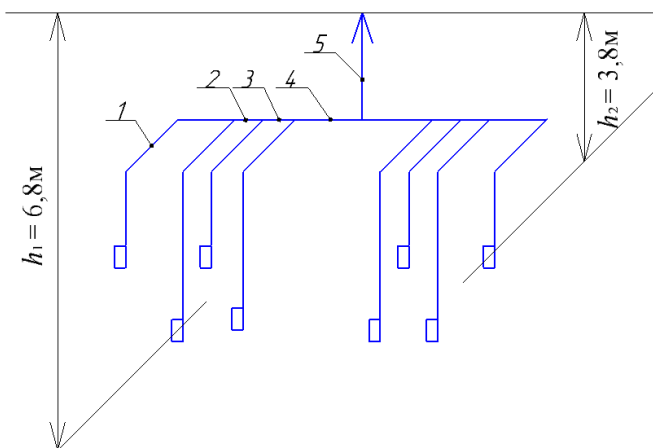


Рис. 2.13. Схема вытяжной естественной вентиляции

Порядок расчета. При определении располагаемого естественного давления вытяжной вентиляции жилых и общественных зданий в качестве расчетной наружной температуры принимается температура наружного воздуха $t_{н} = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1. Определяем плотности воздуха по формуле (1.44):

$$\rho_{+5\text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{353}{273 + 5} = 1,27\text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_b = \frac{353}{273 + 18} = 1,213 \text{ кг/м}^3.$$

2. Определяем главную расчетную ветвь – это ветвь, удельное располагаемое давление в которой будет наименьшим.

Находим располагаемое и удельное давления в ветви через канал первого и второго этажей по формулам (2.20) и (2.22):

$$\Delta P_1 = 6,8 \cdot (1,27 - 1,213) \cdot 9,81 = 3,8 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{уд1} = \frac{3,8}{7,8} = 0,487 \text{ Па/м,}$$

где $\sum l_{1\text{эт}} = l_6 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 = 3,8 + 0,15 + 0,15 + 0,5 + 3,2 = 7,8 \text{ м.}$

$$\Delta P_2 = 3,8 \cdot (1,27 - 1,213) \cdot 9,81 = 2,124 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{уд2} = \frac{2,124}{4,8} = 0,443 \text{ Па/м,}$$

где $\sum l_{2\text{эт}} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 = 0,8 + 0,15 + 0,15 + 0,5 + 3,2 = 4,8 \text{ м.}$

Так как $\Delta P_{уд2} < \Delta P_{уд1}$, то расчетной будет ветвь, идущая через канал второго этажа.

3. Определяем потери давления на участках. Для участка 1 определим предварительное сечение канала по рекомендуемой скорости воздуха для горизонтальных и вертикальных каналов от 0,5 до 1,0 м/с по формуле (2.17):

$$F'_1 = \frac{25}{3600 \cdot 1} = 0,007 \text{ м}^2.$$

По табл. 2.12 по найденному значению F'_1 находим стандартное сечение кирпичного канала $F = 0,14 \cdot 0,14 = 0,0196 \text{ м}^2$.

4. Действительную скорость воздуха в канале определим по формуле (2.18):

$$v_{ф1} = \frac{25}{3600 \cdot 0,0196} = 0,354 \text{ м/с.}$$

5. Определяем эквивалентный диаметр по формуле (2.15):

$$d_{э1} = \frac{2 \cdot 0,14 \cdot 0,14}{0,14 + 0,14} = 0,14 \text{ м.}$$

6. Проведем расчет потерь давления на трение по длине канала с учетом его шероховатости. Сначала определяем число Рейнольдса при

кинематической вязкости воздуха $\nu(+18\text{ }^\circ\text{C}) = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ по формуле (2.10):

$$Re_1 = \frac{0,354 \cdot 0,14}{1,5 \cdot 10^{-5}} = 3304 > 2300,$$

имеем турбулентный режим течения воздуха в канале.

Коэффициент гидравлического трения для гидравлически гладкого канала при турбулентном режиме течения определяем по формуле (2.9):

$$\lambda_{r1} = \frac{0,3164}{(3304)^{0,25}} = 0,0417.$$

Коэффициент гидравлического трения с учетом шероховатости канала определяем по формуле (2.14):

$$\lambda_{ш} = 0,11 \cdot \left(\frac{4}{140} + \frac{68}{3304} \right)^{0,25} = 0,0518,$$

где $k_3 = 4 \text{ мм}$ – коэффициент, учитывающий шероховатость кирпичного канала (см. табл. 2.10).

Коэффициент шероховатости определяем по формуле (2.13):

$$n = \frac{0,0518}{0,0417} = 1,24.$$

Рассчитываем удельные потери давления на трение. Для этого формулы (2.8) и (2.11) преобразуем к следующему виду:

$$R_1 = \frac{\lambda_r}{d_3} \frac{\rho v^2}{2} = \frac{0,0417}{0,14} \cdot \frac{1,213 \cdot (0,354)^2}{2} = 0,022 \text{ Па/м}.$$

Потери давления на трение по длине канала определяем по формуле (2.7):

$$\Delta P_1 = 0,022 \cdot 0,8 \cdot 1,24 = 0,0225 \text{ Па}.$$

Также удельные потери давления на трения $R_{уд}$ можно определить по справочной табл. 2.8. или номограмме (рис. 2.12). Коэффициент шероховатости n можно определить по табл. 2.9.

7. Определяем коэффициенты местных сопротивлений на участке 1 (см. рис. 2.13) по табл. 2.7:

- жалюзийная решетка (первое боковое ответвление) $\xi = 3,5$;
- два колена под углом 90° $\xi = 1,2 \cdot 2 = 2,4$;

– тройник на проход $\xi = 1 (F_0 / F_{II} = F_6 / F_1 = 0,02 / 0,02 = 1, Q_0 / Q_c = Q_6 / Q_2 = 25 / 50 = 0,5)$ (рис. 2.14).

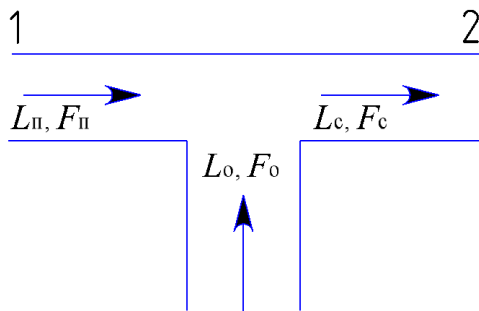


Рис. 2.14. Схема для определения ξ тройник на проход

Таким образом, $\sum \xi_1 = 3,5 + 2,4 + 1 = 6,9$.

8. Определяем потери давления в местных сопротивлениях по формуле (2.12):

$$Z_1 = 6,9 \cdot \frac{1,213 \cdot (0,354)^2}{2} = 0,525 \text{ Па.}$$

9. Определяем суммарные потери давления на участке 1:

$$P_1 = R l n + Z = 0,023 + 0,525 = 0,548 \text{ Па.}$$

Потери давления на остальных участках рассчитываются аналогично. Коэффициенты местных сопротивлений на участках приведены в табл. 2.13. Результаты расчета заносятся в табл. 2.14.

Т а б л и ц а 2.13. Коэффициенты местных сопротивлений

Участок	Местное сопротивление на участке	ξ
2	Тройник на проход ($F_0 / F_{II} = F_6 / F_2 = 0,14^2 / 0,15^2 = 0,87, L_0 / L_c = L_0 / L_3 = 25 / 75 = 0,33$)	0,55
3	Тройник на проход ($F_0 / F_{II} = F_6 / F_3 = 0,14^2 / 0,15 \cdot 0,2 = 0,65, L_0 / L_c = L_0 / L_4 = 25 / 100 = 0,25$)	0,5
4	Тройник на проход ($F_0 / F_{II} = F_6 / F_4 = 0,2^2 / 0,2^2 = 1, L_0 / L_c = L_0 / L_5 = 100 / 200 = 0,5$)	1,0
5	Вытяжная шахта с зонтом квадратного сечения	1,3
6	Жалюзийная решетка (первое боковое ответвление) $\xi = 3,5$ Колено под углом 90° $\xi = 1,2$ Тройник на ответвление $\xi = 1,1$ ($F_0 / F_{II} = F_6 / F_1 = 0,14^2 / 0,14^2 = 1, L_0 / L_c = L_6 / L_2 = 25 / 50 = 0,5$)	$\sum \xi = 5,8$

**Таблица 2.14. Аэродинамический расчет воздуховодов
естественной системы вентиляции**

Номер участка	Расход воздуха $L, \text{ м}^3/\text{ч}$	Длина участка $l, \text{ м}$	Скорость воздуха $v, \text{ м/с}$	Площадь поперечного сечения $F, \text{ м}^2$	Размеры сечений $a \times b, \text{ мм}$	Эквивалентный диаметр $d_e, \text{ мм}$	Число Рейнольдса	Коэффициент гидравлического трения λ_s	Удельные потери давления на трение $R, \text{ Па}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Главная расчетная ветвь (ветвь через канал второго этажа)									
1	25	0,8	0,354	0,02	140×140	140	3307	0,0417	0,0227
2	50	0,15	0,617	0,0225	150×150	150	6173	0,0357	0,0549
3	75	0,15	0,694	0,030	200×150	171	7937	0,0335	0,0572
4	100	0,5	0,694	0,040	200×200	200	9259	0,0323	0,0472
5	200	3,2	0,89	0,0625	250×250	250	14815	0,0287	0,0552
Ответвление									
6	25	3,8	0,3543	0,02	140×140	140	3306,88	0,0417	0,0226

Окончание табл. 2.14

Номер участка	Коэффициент шероховатости n	Потери давления на трение с учетом шероховатости $R/n, \text{ Па}$	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \xi$	Потери давления в местных сопротивлениях $Z, \text{ Па}$	Суммарные потери давления на участке $R/n + Z, \text{ Па}$
1	11	12	13	14	15
Главная расчетная ветвь (ветвь через канал второго этажа)					
1	1,24	0,0225	6,9	0,5253	0,5478
2	1,11	0,0091	0,55	0,1257	0,135
3	1,124	0,0096	0,5	0,1447	0,1543
4	1,124	0,0265	1	0,2889	0,3154
5	1,13	0,199	1,3	0,6163	0,8153
Итого: $P_{\text{ф}} = 0,5478 + 0,135 + 0,1543 + 0,3154 + 0,153 = 1,97 \text{ Па}$.					
$P_{\text{р}} = 2,124 \text{ Па}$.					
Невязка: $(P_{\text{р}} - P_{\text{ф}}) / P_{\text{р}} = (2,124 - 1,97) / 2,124 = 7,3 \% < 10 \%$.					
Ответвление					
6	1,124	0,097	5,8	0,4416	0,5386
Невязка в точке пересечения участков 1 и 6: $(\Delta P_{\text{мг}} - \Delta P_{\text{отв}}) / \Delta P_{\text{мг}} = (0,5478 - 0,5386) / 0,5478 = 0,15 \% < 10 \%$.					

2.2.8. Аэрация промышленного здания

Аэрацией называют организованный естественный воздухообмен в помещении. Ее осуществляют через специально предусмотренные регулируемые отверстия в наружных ограждениях с использованием естественных побудителей движения воздуха – гравитационных сил и ветра. Аэрация может обеспечивать весьма интенсивное проветривание помещений.

Учитывая сложность процесса аэрации, практические расчеты ее проводят при определенных допущениях. Основные из этих допущений следующие:

- 1) тепловой и воздушный режимы помещения считают установившимися во времени;
- 2) под температурой рабочей зоны понимают среднюю по объему зоны температуру воздуха;
- 3) изменение температуры по вертикали принимают по линейному или линейно-ступенчатому закону;
- 4) стеснения конвективных струй над нагретым оборудованием не учитывают;
- 5) энергию приточных струй не учитывают, считая, что она полностью рассеивается в объеме рабочей зоны;
- 6) при определении расходов через проемы не учитывают их высоту, пренебрегая изменением разности давлений по вертикали;
- 7) при составлении баланса воздуха в помещении не учитывают неорганизованный естественный воздухообмен.

В зависимости от удельной теплonaпряженности помещения, высоты помещения (здания), температуры наружного воздуха и скорости ветра применяют один из трех вариантов расчета. Основным условием, определяющим вариант расчета, является соотношение между значениями ветрового и гравитационного давлений.

Аэрация под действием только гравитационных сил.

Действием ветра можно пренебречь, если избыточное ветровое давление меньше половины максимального значения гравитационного давления.

$$P_{v1} \leq 0,5H\Delta\rho g, \quad (2.25)$$

где P_{v1} – ветровое давление на уровне нижнего ряда аэрационных отверстий;

H – расстояние по вертикали между центрами приточных и вытяжных аэрационных отверстий.

Для изолированного помещения, в котором аэрация происходит через открытые проемы, расположенные на одном из фасадов, при любой скорости ветра будет иметь место рассматриваемый случай.

Аэрация под действием только ветра.

$$P_{v1} \geq 10H\Delta\rho g. \quad (2.26)$$

Этот случай наблюдается в помещениях без тепловыделений (склады химикатов, оборудования, некоторые производственные помещения с влаговыведениями и др.).

Аэрация при совместном действии гравитационных сил и ветра.

$$0,5H\Delta\rho g < P_{v1} < 10H\Delta\rho g. \quad (2.27)$$

Варианты расчета аэрации различаются в основном способом определения расчетных перепадов давлений.

При расчете аэрации возможна прямая или обратная задача (деление на эти две задачи условно).

Прямая задача – определение площади открытых проемов, необходимой для обеспечения аэрации помещения. Эту задачу приходится решать в случае, когда площадь аэрационных проемов заведомо меньше площади остекления, определенной из условия освещения помещения.

При этом обычно задаются значением P_0 (давлением в помещении) и по заданным расходам $L_{п.а}$ и $L_{у.а}$ определяют площади аэрационных проемов $F_{п.а}$ и $F_{у.а}$.

Обратная задача – расчет фактического воздухообмена при заданных площадях $F_{п.а}$ и $F_{у.а}$ аэрационных приточных и вытяжных отверстий. В цехах, где площадь открывающихся световых проемов недостаточна для организации аэрации, в наружных ограждениях необходимо предусматривать устройство специальных аэрационных проемов. Цель расчета – определение минимальной площади этих проемов. Задачу решают подбором: задаваясь площадями $F_{п.а}$ и $F_{у.а}$, определяют такое значение P_0 , при котором осуществляется расчетный воздухообмен.

Для обеспечения устойчивой аэрации при решении как прямой, так и обратной задачи следует выполнять следующую рекомендацию: эквивалентная площадь приточных отверстий $\Sigma F_{п.п}$ должна превышать эквивалентную площадь вытяжных отверстий $\Sigma F_{у.у}$, т. е.

$$\Sigma F_{п.п} \approx a \Sigma F_{у.у}, \quad (2.28)$$

где a – коэффициент, равный 1,2–1,3.

Выполнение этого условия предотвращает «опрокидывание» потока в вытяжных отверстиях.

Пример 2.5. Расчет аэрации однопролетного промышленного здания.

Исходные данные:

1. Теплоизбытки $\Delta Q = 5,3 \cdot 10^6$ кДж/ч.
2. Расстояние по вертикали между центром приточных и вытяжных отверстий $h = 8,3$ м.
3. Температура наружного воздуха $t_{в} = 18$ °С.
4. Скорость ветра $v = 3$ м/с; эмпирический коэффициент $m = 0,65$ (величина обратная коэффициенту воздухообмена).
5. Приточная система механической вентиляции подает $G_{п2} = 40\,000$ кг/ч воздуха с температурой $t_{п2} = 17$ °С; вытяжная система удаляет $G_{y2} = 290\,000$ кг/ч воздуха с температурой $t_{y2} = t_{р.3} = 23$ °С.
6. Аэродинамические коэффициенты: $k_{аэр1} = +0,8$; $k_{аэр4} = -0,39$; $k_{аэр2} = k_{аэр3} = -0,42$ (фонарь с ветрозащитными щитами).
7. Коэффициенты расхода $\mu_{п} = 0,51$, $\mu_{y} = 0,45$ (1 – естественная вентиляция (аэрация); 2 – механическая вентиляция).
8. Схема аэрации однопролетного промышленного здания представлена на рис. 2.15.

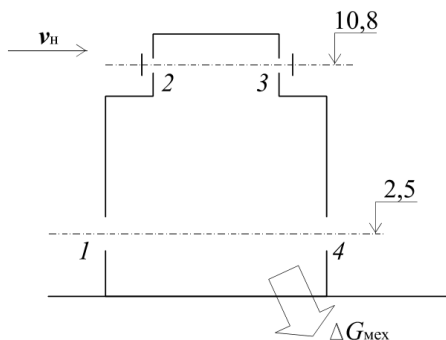


Рис. 2.15. Вертикальный разрез здания и схема связей помещения с наружным воздухом: 1 и 4 – приточные отверстия; 2 и 3 – вытяжные отверстия; $\Delta G_{мех}$ – дебаланс воздуха, создаваемый вентиляционными системами с механическим побуждением движения воздуха

Порядок расчета.

1. Определяем температуру удаляемого воздуха, °С:

$$t_{y1} = t_H + \frac{t_{p.3} - t_H}{m}. \quad (2.29)$$

$$t_{y1} = 18 + \frac{23 - 18}{0,65} = 25,7 \text{ °С.}$$

2. Определяем среднюю по высоте помещения температуру внутреннего воздуха, °С:

$$t_B = 0,5(t_{p.3} + t_{y1}). \quad (2.30)$$

$$t_B = 0,5 \cdot (23 + 25,7) = 24,3 \text{ °С.}$$

3. Определяем плотность воздуха, соответствующую температурам $t_H = t_{п1} = 18 \text{ °С}$, $t_{y1} = 25,7 \text{ °С}$, $t_B = 24,3 \text{ °С}$, по формуле (1.44):

$$\rho_H = 1,213 \text{ кг/м}^3, \rho_y = 1,186 \text{ кг/м}^3, \rho_B = 1,189 \text{ кг/м}^3.$$

4. Определяем вариант расчета аэрации:

$$\frac{P_{v1}}{h\Delta\rho g} = \frac{(k_{aэp1} - k_{aэp \text{ min}})\rho_H v_H^2}{2h(\rho_H - \rho_B)g}. \quad (2.31)$$

$$\frac{P_{v1}}{h\Delta\rho g} = \frac{(0,8 - 0,42) \cdot 1,213 \cdot 3^2}{2 \cdot 8,3 \cdot (1,213 - 1,189) \cdot 9,8} = 3,4.$$

Так как $0,5 < 3,4 < 10$, то при расчете аэрации следует учитывать совместное действие ветра и гравитационных сил.

5. Определяем расчетные наружные давления, приняв за ноль давление на уровне середины верхних проемов:

$$P = (k_{aэp1,4} - k_{aэp2}) \frac{\rho_H v_H^2}{2} + h\Delta\rho g. \quad (2.32)$$

$$P_1 = (0,8 + 0,42) \cdot \frac{1,213 \cdot 3^2}{2} + 8,3 \cdot (1,213 - 1,189) \cdot 9,8 = 8,6 \text{ Па.}$$

$$P_4 = (-0,39 + 0,42) \cdot \frac{1,213 \cdot 3^2}{2} + 8,3 \cdot (1,213 - 1,189) \cdot 9,8 = 2,11 \text{ Па.}$$

$$P_2 = P_3 = 0.$$

6. Определяем дебаланс механической вентиляции:

$$\Delta G_{\text{мех}} = G_{п2} - G_{y2}. \quad (2.33)$$

$$\Delta G_{\text{мех}} = 40\,000 - 290\,000 = -0,25 \cdot 10^6 \text{ кг/ч.}$$

7. Определяем требуемые аэрационные расходы (решаем систему уравнений балансов тепла и воздуха):

$$\begin{cases} \Delta Q + G_{\text{п1}} I_{\text{п1}} + G_{\text{п2}} I_{\text{п2}} - G_{\text{y1}} I_{\text{y1}} - G_{\text{y2}} I_{\text{y2}} = 0, \\ G_{\text{п1}} + G_{\text{п2}} - G_{\text{y1}} - G_{\text{y2}} = 0, \end{cases} \quad (2.34)$$

где $G_{\text{п1}}, G_{\text{y1}}$ – расход приточного и удаляемого аэрационной системой воздуха;

$G_{\text{п2}}, G_{\text{y2}}$ – производительность соответствующих систем механической вентиляции.

Решение системы имеет следующий вид:

$$G_{\text{y1}} = \frac{\Delta Q + G_{\text{п2}} \cdot c_p (t_{\text{п2}} - t_{\text{п1}}) - G_{\text{y2}} \cdot c_p (t_{\text{y2}} - t_{\text{п1}})}{c_p (t_{\text{y1}} - t_{\text{п1}})}. \quad (2.35)$$

$$G_{\text{п1}} = G_{\text{y1}} + G_{\text{y2}} - G_{\text{п2}}. \quad (2.36)$$

$$G_{\text{y1}} = \frac{5,3 \cdot 10^6 + 40\,000 \cdot 1 \cdot (17 - 18) - 290\,000 \cdot 1 \cdot (23 - 18)}{1 \cdot (25,7 - 18)} = \\ = 0,505 \cdot 10^6 \text{ кг/ч.}$$

$$G_{\text{п1}} = 0,505 \cdot 10^6 - 0,25 \cdot 10^6 = 0,755 \cdot 10^6 \text{ кг/ч.}$$

8. Определяем избыточное относительно условного ноля внутреннее статическое давление:

$$1 + \Delta G_{\text{мех}}^* = \frac{1}{\alpha} \frac{\sqrt{\rho_y} \sqrt{P_0 - P_2} + \sqrt{P_0 - P_3}}{\sqrt{\rho_n} \sqrt{P_1 - P_0} + \sqrt{P_4 - P_0}}. \quad (2.37)$$

Принимаем $\alpha = 1,3$ и вычисляем

$$\Delta G_{\text{мех}}^* = \frac{\Delta G_{\text{мех}}}{G_{\text{п1}}} = \frac{-0,25 \cdot 10^6}{0,755 \cdot 10^6} = -0,331.$$

$$1 - 0,331 = \frac{1}{1,3} \sqrt{\frac{1,186}{1,213}} \cdot \frac{\sqrt{P_0 - 0} + \sqrt{P_0 - 0}}{\sqrt{8,6 - P_0} + \sqrt{2,11 - P_0}}.$$

$$0,875 = \frac{2\sqrt{P_0}}{\sqrt{8,6 - P_0} + \sqrt{2,11 - P_0}}.$$

Решаем это уравнение подбором, задаваясь значениями P_0 :
при $P_0 = 2$ Па правая часть уравнения

$$\frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{6,6} + \sqrt{0,11}} = 0,97 > 0,875;$$

при $P_0 = 1,5$ Па правая часть уравнения

$$\frac{2\sqrt{1,7}}{\sqrt{7,1} + \sqrt{0,61}} = 0,71 < 0,875.$$

Интерполируя, находим:

$$P_0 = 1,5 + \frac{2 - 1,5}{0,97 - 0,71} \cdot (0,875 - 0,71) = 1,82 \text{ Па.}$$

Проверка подстановкой в исходное уравнение:

$$0,875 = \frac{2\sqrt{1,82}}{\sqrt{8,6 - 1,82} + \sqrt{2,11 - 1,82}} = 0,86.$$

Принимаем $P_0 = 1,8$ Па.

9. Определяем площади аэрационных проемов:

$$F_1 = F_4 = \frac{G_{n1}/3600}{\mu_n \sqrt{2\rho_n} \cdot (\sqrt{P_1 - P_0} + \sqrt{P_4 - P_0})}. \quad (2.38)$$

$$F_2 = F_3 = \frac{G_{y1}/3600}{\mu_y \sqrt{2\rho_y} \cdot (\sqrt{P_0 - P_2} + \sqrt{P_0 - P_3})}. \quad (2.39)$$

$$F_1 = F_4 = \frac{0,755 \cdot 10^6 / 3600}{0,51 \sqrt{2} \cdot 2,213 \cdot (\sqrt{8,6 - 1,8} + \sqrt{2,11 - 1,8})} = 85 \text{ м}^2.$$

$$F_2 = F_3 = \frac{0,505 \cdot 10^6 / 3600}{0,45 \sqrt{2} \cdot 1,186 \cdot (\sqrt{1,8 - 0} + \sqrt{1,8 - 0})} = 75 \text{ м}^2.$$

10. Проверяем условие устойчивости аэрации согласно выражению (2.28):

$$\alpha = \frac{\mu_{\text{п}}}{\mu_{\text{г}}} \cdot \frac{F_1 + F_4}{F_2 + F_3}. \quad (2.40)$$

$$\alpha = \frac{0,51}{0,45} \cdot \frac{85 + 85}{75 + 75} = 1,28 \text{ (допустимое значение).}$$

3. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

3.1. Санитарно-гигиенические основы кондиционирования воздуха

Состояние (кондиция) воздуха в помещениях является существенным фактором, влияющим как на самочувствие человека, так и на течение многих технологических процессов в промышленности.

Кондиционирование воздуха применяют главным образом для создания комфортных условий труда и отдыха человека (комфортное кондиционирование) в общественных и рабочих помещениях, а также создания оптимальных условий для проведения технологических процессов (технологическое кондиционирование). Наибольшее распространение получило комфортное кондиционирование.

Система кондиционирования воздуха (СКВ) представляет собой комплекс средств и устройств, обеспечивающих создание и поддержание в закрытых помещениях заранее заданных параметров воздушной среды, наиболее благоприятных для самочувствия человека – так называемых комфортных условий. Эти условия определяются температурой t , относительной влажностью воздуха ϕ , загрязненностью пылью, определенным химическим составом воздуха и скоростью его движения ω .

Тепло от человеческого организма отводится путем конвекции, испарения и излучения. Так, при температуре воздуха и стен около 20 °С теплотери людьми составляют: конвекцией – 15,30 %, излучением – 55,60 %, испарением – 29,10 % от общего количества тепла.

Сочетание температуры и относительной влажности воздуха определяет охлаждающую способность воздуха по отношению к человеческому организму. Доля испарения в теплоотдаче увеличивается при повышении температуры и понижении относительной влажности. Если температура окружающего воздуха и температура поверхности ограждений помещения будут равны температуре человеческого тела, то все

тепло от организма будет отводиться только испарением. Если влажность воздуха велика, то он не может полностью поглощать выделенную влагу – у человека возникает обильное потоотделение. При этом он быстро утомляется и испытывает жажду. Воздух с низкой влажностью приводит к сухости кожи, ее шероховатости и растрескиванию. Повышается восприимчивость организма к заболеваниям. Для того чтобы обеспечить в помещениях требуемую влажность, воздух осушают летом и увлажняют зимой. Осуществление этих процессов является одной из главных функций системы кондиционирования воздуха.

Скорость воздуха оказывает существенное влияние на отвод тепла. С повышением скорости теплоотдача конвекцией и испарением увеличивается, но при больших скоростях воздуха получается неприятное ощущение «сквозняка». Оптимальная величина скорости воздуха в помещении не должна быть выше 0,2–0,3 м/с. Комфортные параметры воздуха в помещении приведены в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1. Комфортные параметры воздуха в помещении

Помещения	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость воздуха, м/с
Общественные и жилые	20–22/23–25	30–45/30–60	0,2/0,3
Производственные	18–20/21–23	40–60/40–60	0,2/0,3

П р и м е ч а н и е. В числителе приведены параметры для холодного и переходного периодов года, в знаменателе – для теплого периода года.

В летний период года нельзя допускать увеличения разности температур между наружным воздухом и воздухом в помещении больше величин, приведенных в табл. 3.2.

Т а б л и ц а 3.2. Допустимые значения разности температур наружного и внутреннего воздуха

Температура наружного воздуха, °С	25	30	35	40
Разность температур, °С	3	6	10	3

Перепад температур воздуха помещения и подаваемого воздуха (при подаче воздуха непосредственно в зону пребывания людей) должен быть не более 2 °С при его скорости 0,15 м/с. При подаче воздуха на высоту 2–3 м от пола допускается перепад в 4 °С. При больших перепадах температур, что часто наблюдается в судовых системах кондиционирования воздуха, с целью предотвращения неприятного ощущения холодный воздух перемешивается с воздухом помещения. Для этого предусматривают специальные устройства – смесители воздуха.

Жизнь человека в первую очередь зависит от того, достаточно ли он получает кислорода. При снижении содержания кислорода в помещении до 17,5 % человек не сможет прожить и нескольких минут. Содержание углекислого газа свыше 1,0–1,5 % вызывает неприятные ощущения. Поэтому важными для самочувствия человека являются газовый состав и чистота воздуха. С целью поддержания необходимого газового состава воздуха рекомендуются следующие нормы подачи свежего воздуха на 1 человека: производственные помещения – 60–120 м³/ч, общественные и административно-бытовые помещения – 20–60 м³/ч.

Большое значение имеет бесшумность работы системы кондиционирования воздуха. Шум, как правило, вызывается работой вентиляторов и большой скоростью перемещения воздуха. При использовании автономных кондиционеров дополнительным источником шума могут явиться компрессор и другие механизмы.

Основными теплопритоками в жилых и общественных помещениях являются: теплоприток через ограждения помещения, тепловыделения людьми, теплопритоки от работающих механизмов и приборов. Величина суммарных значений теплопритоков составляет в среднем от 50 до 100 Вт/м помещения.

Таким образом, для создания комфортных условий в жилых и общественных помещениях требуется поддержание в них заданной температуры, влажности и скорости воздуха. Кроме того, воздух должен быть очищенным от пыли и иметь нормальный газовый состав.

3.2. Параметры атмосферного воздуха

Атмосферный воздух можно рассматривать как смесь двух газов – сухого воздуха и водяного пара. Такая смесь называется влажным воздухом. Сухая часть воздуха по объему состоит из 78,13 % азота, 20,90 % кислорода, 0,03 % углекислого газа и примерно 1 % инертных и других газов. С достаточной для технических расчетов точностью можно считать, что влажный воздух подчиняется всем законам смеси идеальных газов. Тогда по закону Дальтона общее давление атмосферного воздуха P_0 будет равно сумме давлений сухого воздуха $P_в$ и водяного пара $P_п$, т. е.

$$P_0 = P_в + P_п. \quad (3.1)$$

Воздух, состоящий из сухого воздуха и перегретого водяного пара, называется ненасыщенным влажным воздухом, а состоящий из сухого воздуха и насыщенного водяного пара – насыщенным влажным воздухом.

ном. Давление насыщенного пара P'' зависит только от температуры воздуха и может быть определено по табл. 3.3.

Таблица 3.3. Свойства влажного воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	$P'', \text{Па}$	$d'', \text{г/кг}$	$c_r, \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$	$i_r, \text{кДж/кг}$	$i_r'', \text{кДж/кг}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
0	610,8	3,823	1,006	0	9,561	1,276
1	656,6	4,111	1,006	1,01	10,289	1,272
2	705,4	4,419	1,006	2,01	11,068	1,267
3	757,5	4,748	1,006	3,02	11,901	1,262
4	812,9	5,098	1,006	4,02	12,788	1,258
5	871,8	5,470	1,006	5,03	13,732	1,253
6	934,6	5,868	1,006	6,04	14,742	1,249
7	1001,2	6,290	1,006	7,04	15,814	1,244
8	1072,1	6,741	1,006	8,05	16,960	1,240
9	1147,3	7,219	1,006	9,05	18,176	1,236
10	1227,1	7,727	1,006	10,06	19,470	1,231
11	1311,8	8,268	1,006	11,07	20,848	1,227
12	1401,5	8,841	1,006	12,07	22,310	1,223
13	1496,7	9,451	1,006	13,08	23,867	1,218
14	1597,4	10,097	1,006	14,08	25,517	1,214
15	1704,1	10,783	1,006	15,09	27,271	1,210
16	1817,0	11,511	1,006	16,10	29,133	1,206
17	1936,4	12,282	1,006	17,10	31,108	1,201
18	2062,6	13,100	1,006	18,11	33,204	1,197
19	2196,0	13,966	1,006	19,11	35,425	1,193
20	2336,8	14,883	1,006	20,12	37,779	1,189
21	2485,5	15,854	1,006	21,13	40,227	1,185
22	2642,4	16,882	1,0061	22,13	42,916	1,181
23	2807,9	17,970	1,0061	23,14	45,716	1,177
24	2982,4	19,121	1,0061	24,14	48,680	1,173
25	3166,3	20,338	1,0061	25,15	51,816	1,169
26	3360,0	21,626	1,0061	26,16	55,138	1,165
27	3563,9	22,987	1,0061	27,16	58,651	1,161
28	3778,5	24,425	1,0061	28,17	62,366	1,158
29	4004,3	25,946	1,0062	29,18	66,298	1,154
30	4241,7	27,552	1,0062	30,19	70,453	1,150

Охлаждение насыщенного воздуха сопровождается выпадением конденсата воды. При нагревании насыщенного воздуха водяной пар становится перегретым.

Содержание водяного пара измеряется его количеством в граммах на 1 м^3 объема воздуха (абсолютная влажность).

Масса водяного пара, приходящаяся на 1 кг сухого воздуха, называется влагосодержанием d . Содержание водяных паров в воздухе за-

висит от температуры, количества осадков, наличия водоемов, направляющих ветров.

Однако каждому значению температуры воздуха соответствует некоторое максимальное содержание пара в единице объема, при котором пар становится насыщенным. Содержание водяных паров в насыщенном воздухе при атмосферном давлении в зависимости от температуры приведено в табл. 3.4.

Т а б л и ц а 3.4. Содержание водяных паров в насыщенном воздухе при атмосферном давлении

Показатели	Температура воздуха, °С				
	10	20	30	40	-10
Количество водяных паров, г/м ³	9,4	17,3	30,4	51,1	2,3
Влагосодержание, г/кг	7,64	14,61	27,23	48,64	1,7
Парциальное давление насыщенных водяных паров, кПа	1,12	2,32	4,20	7,31	0,28

Характеристикой влияния влажности воздуха на самочувствие людей является относительная влажность φ .

Относительной влажностью воздуха φ называется отношение абсолютной влажности ненасыщенного воздуха к абсолютной влажности насыщенного воздуха при той же температуре. Относительную влажность можно определить как отношение парциального давления водяного пара $P_{\text{п}}$ к парциальному давлению водяного пара насыщенного воздуха $P_{\text{п}}''$ при той же температуре. Относительную влажность воздуха выражают в процентах или в долях единицы:

$$\varphi = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{п}}''}, \quad \varphi = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{п}}''} 100 \%. \quad (3.2)$$

Относительная влажность насыщенного воздуха равна 100 %.

Влагосодержание и относительная влажность воздуха связаны соотношением

$$d = 0,622 \frac{\varphi P_{\text{п}}''}{P_{\text{о}} - \varphi P_{\text{п}}''}. \quad (3.3)$$

К основным параметрам воздуха относятся не только температура, относительная влажность, влагосодержание, но и энтальпия (теплосодержание). Энтальпию воздуха i выражают как сумму энтальпий 1 кг сухого воздуха $i_{\text{с.в}}$ и энтальпии водяных паров $i_{\text{п}}$, приходящихся на 1 кг сухой части воздуха, т. е.

$$i = i_{\text{с.в}} + d i_{\text{п}} = t + (1,89t + 2500) d. \quad (3.4)$$

Основные параметры воздуха можно вычислять по формулам (3.1)–(3.4), однако для построения процессов изменения состояния воздуха удобнее пользоваться *i-d*-диаграммой влажного воздуха (рис. 3.1).

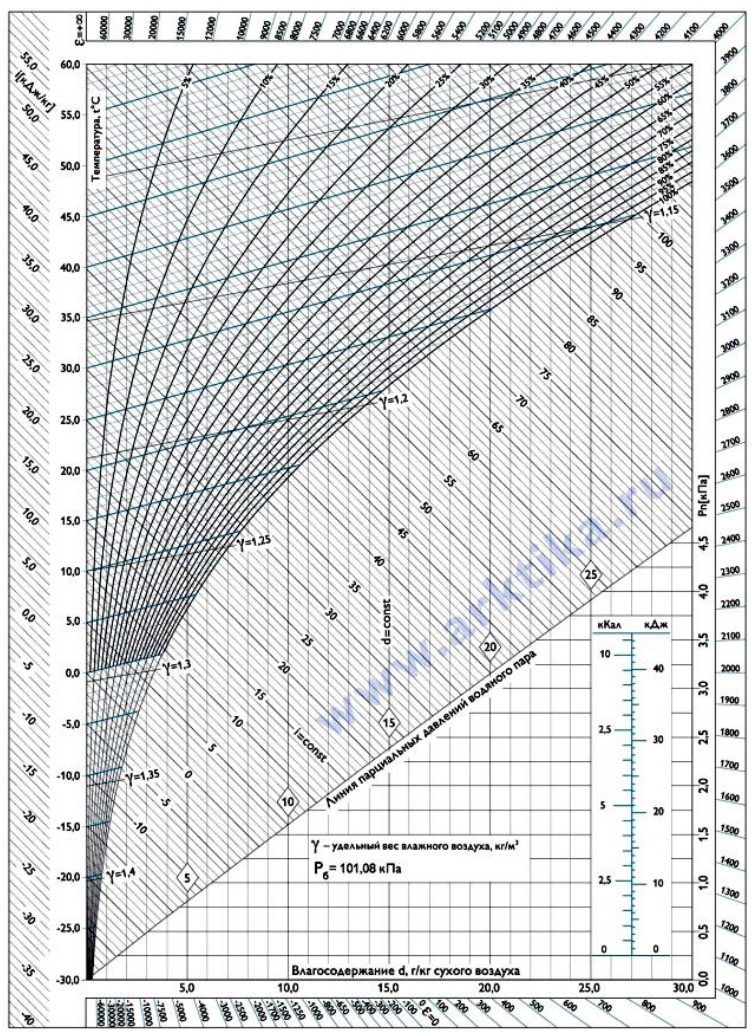


Рис. 3.1. Общий вид *i-d*-диаграммы влажного воздуха

i-d-диаграмма, другое название – диаграмма состояний влажного воздуха, используется при расчете параметров воздухообмена в помещении и позволяет быстро определить все параметры влажного воздуха по двум известным параметрам, избегая многочисленных вычислений. Учитывая, что влажный воздух является основным объектом вентиляционного процесса, в области вентиляции и систем кондиционирования воздуха (СКВ) приходится часто определять те или другие его параметры. Использование диаграммы позволяет избежать вычислений по формулам и наглядно отобразить вентиляционный процесс.

Диаграмма была разработана русским ученым, профессором Л. К. Рамзиным в 1918 г. Аналогом *i-d*-диаграммы на западе является диаграмма Молье или психрометрическая диаграмма.

3.3. Описание *i-d*-диаграммы

i-d-диаграмма влажного воздуха графически связывает все параметры, определяющие тепловлажностное состояние воздуха: энтальпию, влагосодержание, температуру, относительную влажность, парциальное давление водяных паров. Диаграмма построена в косоугольной системе координат, что позволяет расширить область ненасыщенного влажного воздуха и делает диаграмму удобной для графических построений. По оси ординат диаграммы отложены значения энтальпии i , кДж/кг сухой части воздуха, по оси абсцисс, направленной под углом 135° к оси i , – значения влагосодержания d , г/кг сухой части воздуха. Поле диаграммы разбито линиями постоянных значений энтальпии $i = \text{const}$ и влагосодержания $d = \text{const}$. На него нанесены также линии постоянных значений температуры $t = \text{const}$, которые не параллельны между собой: чем выше температура влажного воздуха, тем больше отклоняются вверх его изотермы. Кроме линий постоянных значений i , d , t , на поле диаграммы нанесены линии постоянных значений относительной влажности воздуха $\varphi = \text{const}$. В нижней части *i-d*-диаграммы расположена кривая, имеющая самостоятельную ось ординат. Она связывает влагосодержание d , г/кг, с упругостью водяного пара P_n , кПа. Ось ординат этого графика является шкалой парциального давления водяного пара P_n . Все поле диаграммы разделено линией $\varphi = 100\%$ на две части. Выше этой линии расположена область ненасыщенного влажного воздуха. Линия $\varphi = 100\%$ соответствует состоянию воздуха, насыщенного водяными парами. Ниже расположена область пересыщенного состояния воздуха (область тумана). Каж-

дая точка на i - d -диаграмме соответствует определенному тепловлажностному состоянию воздуха. Линия на i - d -диаграмме соответствует процессу тепловлажностной обработки воздуха.

3.4. Производительность систем вентиляции и кондиционирования воздуха

3.4.1. Определение воздухообмена в помещении

Определение воздухообмена является одной из главных задач, возникающих при устройстве систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Воздухообменом называется количество воздуха, необходимое для обеспечения нормативных санитарно-гигиенических параметров воздушной среды помещений и одновременно удовлетворяющее (если помещение производственное) технологическим требованиям к воздушной среде производственных помещений. Воздухообмен определяется из уравнений балансов вредностей (избытки тепла, влаги, вредные газы, пыль).

Расход приточного воздуха G , кг/ч, в помещениях зданий, где отсутствуют местные отсосы, определяется для теплого, холодного периодов и переходных условий по формулам, в зависимости от удаляемых вредностей:

по избыткам полного тепла

$$G_1 = \frac{3,6 Q_{\text{изб}}^{\text{пол}}}{c(i_y - i_n)}; \quad (3.5)$$

по избыткам явного тепла

$$G_2 = \frac{3,6 Q_{\text{изб}}^{\text{явн}}}{c(t_y - t_n)}; \quad (3.6)$$

по избыткам влаги

$$G_3 = \frac{W}{(d_y - d_n)}; \quad (3.7)$$

по массе выделяющихся вредных веществ

$$G_{4i} = \frac{\rho M_i}{c(c_{yi} - c_{ni})}, \quad (3.8)$$

где $Q_{\text{изб}}^{\text{пол}}$, $Q_{\text{изб}}^{\text{явн}}$ – избытки явной и полной теплоты в помещении, Вт;

c – теплоемкость воздуха, $c = 1,005$ кДж/(кг · °С);

i_y , i_n – энтальпия удаляемого и приточного воздуха, кДж/кг;

t_y – температура воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны, °С;

t_n – температура приточного воздуха, °С;

W – избытки влаги в помещении, г/ч;

d_y – влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны, г/кг;

d_n – влагосодержание приточного воздуха, г/кг;

M_i – расход каждого из вредных или взрывоопасных веществ, поступающих в воздух в помещение, г/ч;

c_{yi} – концентрация вредного или взрывоопасного вещества в воздухе, удаляемом за пределами обслуживаемой зоны помещения, г/м³;

c_{ni} – концентрация вредного или взрывоопасного вещества в воздухе, подаваемом в помещение, г/м³;

ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Допустимые концентрации CO₂, г/м³, в помещениях:

с постоянным пребыванием детей, больных – 1,28;

с периодическим пребыванием людей (учреждения) – 2,3;

с кратковременным пребыванием людей (залы заседаний, зрительные залы и т. п.) – 3,7.

Содержание CO₂ в наружном воздухе, г/м³:

в сельской местности – 0,6;

в поселках и небольших городах – 0,73;

в крупных городах – 0,91.

Избытки явной и полной теплоты, а также влаги определяются на основе составления тепловлажностного баланса помещения. Одним из составляющих такого баланса является поступление вредностей от человека, которые определяются согласно табл. 3.5.

За расчетный воздухообмен принимается большая из величин, полученных по формулам (3.5)–(3.8). Полученный расчетный воздухообмен сопоставляется с нормативной кратностью, определяемой из справочников, либо для общественных зданий с нормативными параметрами воздухообмена для 1 человека:

– общественные здания – 40 м³/(чел. · ч);

– кинотеатры, клубы – 20 м³/(чел. · ч);

– спортзалы – 80 м³/(чел. · ч).

Т а б л и ц а 3.5. **Количество теплоты и влаги, выделяемое взрослым человеком (мужчиной)**

Температура воздуха в помещении, $t_{в}, ^\circ\text{C}$	Количество теплоты, Вт		Количество влаги, $w_{л}, \text{г/ч}$	Количество CO_2 , $m_{л}, \text{г/ч}$
	явной $q_{явн.л}$	полной $q_{пол.л}$		
Состояние покоя				
15	116	145	40	40
20	87	116	45	
25	58	93	50	
30	41	93	75	
35	12	93	120	
Легкая работа				
15	122	157	55	45
20	99	151	75	
25	64	145	110	
30	41	146	140	
35	6	146	180	
Работа средней тяжести				
15	135	210	110	60
20	105	205	140	
25	70	200	185	
30	40	200	230	
35	5	200	280	

3.4.2. Определение параметров наружного воздуха

Расчетные параметры наружного воздуха при проектировании вентиляции следует принимать в соответствии с СНБ 2.04.02–2000 для теплого периода по параметрам А, для холодного периода – по параметрам Б. На холодный период года для систем кондиционирования воздуха (СКВ) всех классов в качестве расчетных следует принимать параметры воздуха Б. На теплый период года: для СКВ 1-го класса – параметры Б; для СКВ 2-го класса – параметры Б, сниженные на 2 °С; для СКВ 3-го класса – параметры А.

Для холодного периода года параметры:

А – средняя температура наиболее холодного периода и энтальпия, соответствующая этой температуре и относительной влажности наиболее холодного месяца в 13 часов;

Б – средняя температура наиболее холодной пятидневки и энтальпия, соответствующая этой температуре и относительной влажности самого холодного месяца в 13 часов.

Для теплого периода года параметры:

А – средняя температура и энтальпия, наибольшее значение которых в данном географическом пункте наблюдаются 400 часов и менее в году, или же это средние температура и энтальпия самого жаркого месяца в 14 часов;

Б – температура и энтальпия, наиболее высокие значения которых наблюдаются 220 часов.

Системы кондиционирования воздуха подразделяются на классы:

1-го класса – для обеспечения метеорологических условий, требуемых для технологического процесса, при экономическом обосновании или в соответствии с требованиями нормативных документов;

2-го класса – для обеспечения метеорологических условий в пределах оптимальных норм или требуемых для технологических процессов;

3-го класса – для обеспечения метеорологических условий в пределах допустимых норм, если они не могут быть обеспечены вентиляцией в теплый период года без применения искусственного охлаждения воздуха, или оптимальных норм – при экономическом обосновании.

3.4.3. Определение параметров внутреннего воздуха

Под параметрами внутреннего воздуха понимают параметры воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне помещения.

В верхней зоне помещения, где обычно нет людей, параметры воздуха не нормируются.

Параметры внутреннего воздуха назначаются отдельно для тепло- и холодного периодов года. При расчетах вентиляции ориентируются на допустимый диапазон параметров (табл. 3.6, 3.7), а при расчетах кондиционирования – на оптимальный диапазон параметров внутреннего воздуха по требованиям к воздуху в рабочей зоне, по параметрам микроклимата в помещении, а также по СНБ 4.02.01–03.

Относительная влажность принимается в пределах 40–60 %.

Т а б л и ц а 3.6. Допустимые нормы параметров внутреннего воздуха в обслуживаемой зоне жилых и общественных зданий (для людей, находящихся в помещении более 2 часов непрерывно)

Период года	Температура, °С	Относительная влажность φ, %, не более	Подвижность воздуха v, м/с
1	2	3	3
Холодный и переходный	18*–22	65	0,2

1	2	3	4
Теплый	Не более чем на 3 °С выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А). Не выше 28 °С** для общественных и административно-бытовых помещений с постоянным пребыванием людей	65***	0,5

*Для общественных зданий с пребыванием людей в уличной одежде следует принимать температуру 14 °С.

**Для районов с $t_{н} = 25$ °С и выше следует принимать температуру не выше 33 °С.

***В районах с расчетной относительной влажностью наружного воздуха более 75 % допускается принимать влажность внутреннего воздуха 75 %.

Т а б л и ц а 3.7. Расчетные параметры воздуха на постоянных и непостоянных рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ	Допустимые нормы			
		температуры, °С		скорости движения воздуха, м/с, не более	относительной влажности, %, не более
		на постоянных рабочих местах	на непостоянных рабочих местах		
Теплый	Легкая:				75
	Iа	28/31	30/32	0,2	
	Iб	28/31	30/32	0,3	
	Средней тяжести:				
	IIа	27/30	29/31	0,4	
	IIб	27/30	29/31	0,5	
Тяжелая	III	26/29	28/30	0,6	
Холодный и переходный	Легкая:				75
	Iа	21–25	18–26	0,1	
	Iб	20–24	17–25	0,2	
	Средней тяжести:				
	IIа	17–23	15–24	0,3	
	IIб	15–21	13–23	0,4	
Тяжелая	III	13–19	12–20	0,5	

П р и м е ч а н и е. Допустимые нормы внутреннего воздуха приведены в виде дроби: в числителе – для районов с расчетной температурой наружного воздуха ниже 25 °С, в знаменателе – выше 25 °С.

К категории Ia относятся работы, выполняемые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (профессии сферы управления, швейного и часового производства, точного приборостроения).

К категории Ib относятся работы, выполняемые сидя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях связи, контролеры, мастера).

К категории IIa относятся работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (массой до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие незначительного физического напряжения (ряд профессий в прядильно-ткацком производстве, механосборочных цехах).

К категории IIб относятся работы, связанные с ходьбой и перемещением грузов массой до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий машиностроения, металлургии).

К категории III относятся работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (массой более 10 кг) тяжестей и требующие значительных физических усилий.

3.4.4. Определение параметров удаляемого воздуха

Температуру воздуха, удаляемого системами вентиляции и СКВ, t_y , °C, в помещениях высотой более 4 м можно определить по уравнению

$$t_y = t_v + (H - h)\text{grad } t, \quad (3.9)$$

где H – высота помещения, м;

h – высота рабочей зоны помещения, м. Высота рабочей зоны $h = 2$ м, если работы выполняются стоя; $h = 1,5$ м, если работы выполняются сидя;

$\text{grad } t$ – градиент температуры по высоте помещения выше рабочей зоны, °C/м.

Градиент температуры по высоте помещения определяют в зависимости от удельных избытков явного тепла в помещении по табл. 3.8.

Удельные выделения явной теплоты определяют по уравнению

$$q_y = \frac{Q_{\text{изб}}^{\text{явн}}}{V_{\text{п}}}, \quad (3.10)$$

где $V_{\text{п}}$ – объем помещения по внутреннему обмеру, м.

Т а б л и ц а 3.8. Рекомендуемые значения градиента температуры в помещениях общественных зданий

Теплонапряженность помещения (удельные избытки явного тепла) q_v , Вт/м ³	Градиент температуры grad t , °С/м
Более 23	0,8–1,5
11,6–23	0,3–1,2
Менее 11,6	0–0,5

Пр и м е ч а н и е. Меньшие значения градиента следует принимать для холодного периода года, а большие – для теплого периода года.

Для общественных зданий при высоте помещения менее 4 м можно принимать

$$t_y = t_b, d_y = d_b, \quad (3.11)$$

где t_b – температура воздуха в рабочей зоне помещения, °С;

d_b – влагосодержание воздуха в рабочей зоне помещения, г/кг.

Влагосодержание уходящего воздуха d_y , г/кг, можно определить по формуле

$$d_y = d_n + \frac{W}{G} 10^3, \quad (3.12)$$

где d_n – влагосодержание наружного воздуха, г/кг;

G – расчетный воздухообмен в весовых единицах; вычисляется по формулам (3.5)–(3.8), кг/ч.

3.4.5. Определение параметров приточного воздуха

Температуру приточного воздуха $t_{п}$, °С, можно определить по формуле

$$t_{п} = t_b - \Delta t_{доп}, \quad (3.13)$$

где $\Delta t_{доп}$ – допустимый перепад температур, зависящий от выбора принципиальной схемы воздухораспределения, °С.

Для расчета воздухообмена принимают при подаче воздуха:

– непосредственно в рабочую зону $\Delta t_{доп} = 2^\circ\text{С}$;

– на высоте 2,5 м и выше $\Delta t_{доп} = 4 \dots 6^\circ\text{С}$;

– на высоте более 4 м от пола $\Delta t_{доп} = 6 \dots 8^\circ\text{С}$;

– воздухораспределителями (плафонами) $\Delta t_{доп} = 8 \dots 15^\circ\text{С}$.

3.5. Построение процессов изменения состояния воздуха на i - d -диаграмме

Нагрев.

Воздух нагревается ($d = \text{const}$, t увеличивается, ϕ уменьшается, i увеличивается). Например, воздух с температурой $t = 20^\circ\text{C}$ и влажностью $\phi = 60\%$ нагревают до $t = 35^\circ\text{C}$, необходимо определить параметры нагретого воздуха. Для этого из точки А ($t = 20^\circ\text{C}$, $\phi = 60\%$) проводим параллельную линию к d до пересечения ею линии, соответствующей $t = 35^\circ\text{C}$. Далее по уже известному алгоритму определяем параметры воздуха в точке Б: $t = 35^\circ\text{C}$, $\phi = 25\%$, $i = 57$ кДж/кг, $d = 9$ г/кг (рис. 3.2).

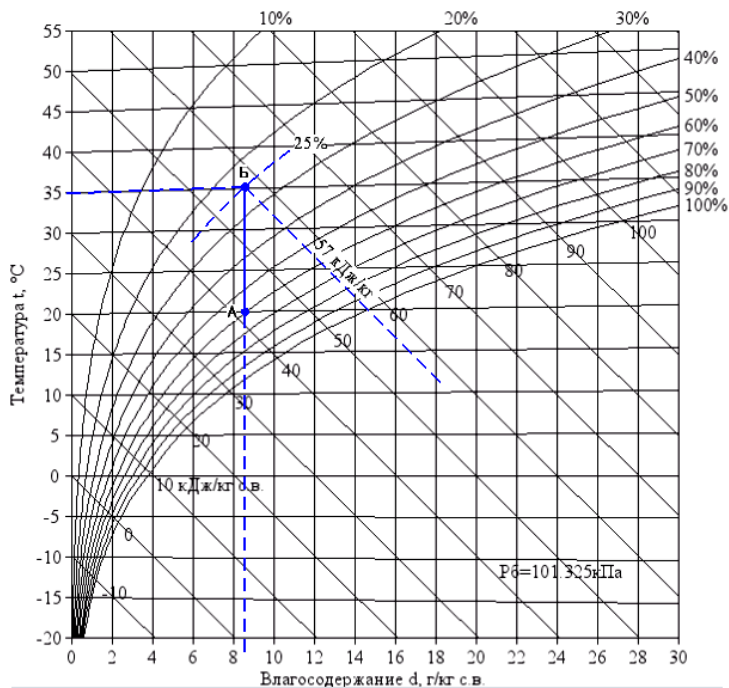


Рис. 3.2. Процесс нагрева на i - d -диаграмме

Охлаждение.

Далее построим процесс охлаждения воздуха ($d = \text{const}$, t уменьшается, ϕ увеличивается, i уменьшается). Для этого возьмем ту же точку А и из нее опустим отрезок параллельно линии d до пересечения с линией необходимой нам температуры, пусть это будет $t = 15^\circ\text{C}$. Параметры охлажденного воздуха в точке Б: $t = 15^\circ\text{C}$, $\phi = 80\%$, $i = 37$ кДж/кг, $d = 9$ г/кг (рис. 3.3).

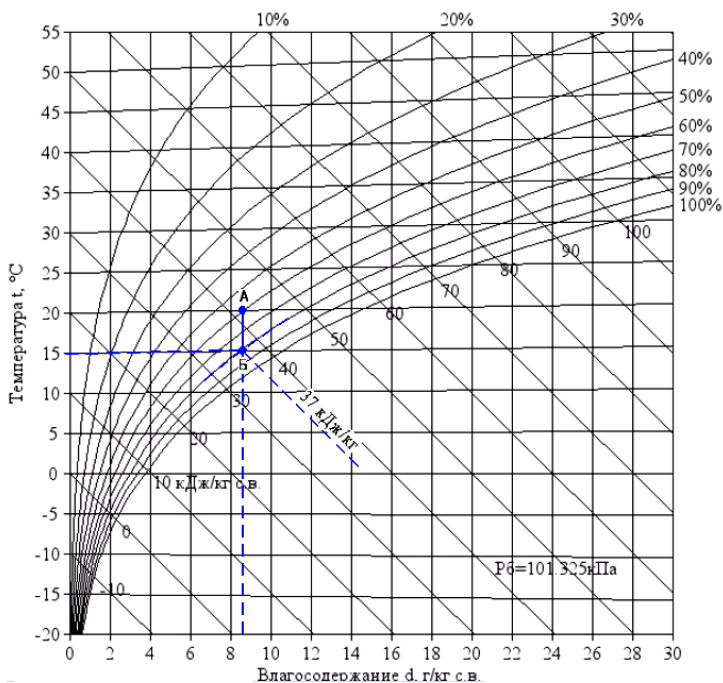


Рис. 3.3. Процесс охлаждения на i - d -диаграмме

Увлажнение.

Процесс увлажнения воздуха бывает двух видов: адиабатный и изотермический. Два этих процесса рассмотрены на одной диаграмме (рис. 3.4).

1. Сначала построим процесс адиабатного увлажнения (d увеличивается, t уменьшается, ϕ увеличивается, $i = \text{const}$). Для этого из точки А опускаем отрезок параллельно линии i до пересечения с дугой

необходимой влажности, в нашем случае – до дуги $\phi = 100\%$, и ставим точку Б, определяем параметры воздуха в этой точке по уже известному алгоритму.

2. Построим процесс изотермического увлажнения (d увеличивается, $t = \text{const}$, ϕ увеличивается, i увеличивается). Из точки А проводим отрезок, параллельный линии $t = \text{const}$, до дуги необходимой влажности. Далее находим параметры воздуха в точке С.

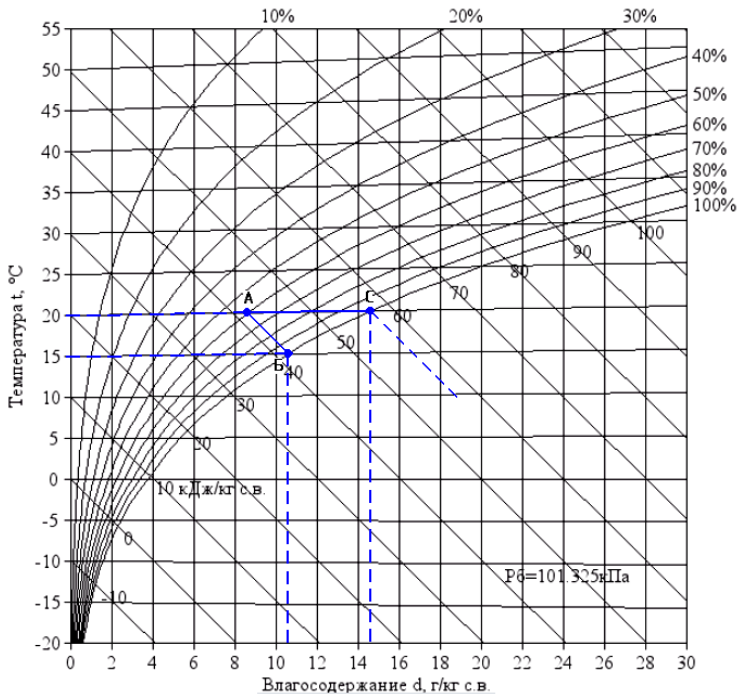


Рис. 3.4. Адиабатный и изотермический процессы увлажнения на i - d -диаграмме

Аналогично происходит построение процесса осушения, только отрезок идет в сторону уменьшения влажности.

Смешивание.

Очень часто необходимо определить параметры воздуха после смешивания воздуха с одними параметрами с воздухом с другими параметрами. Для этого также успешно используется i - d -диаграмма.

Пример 3.1. Внешний воздух в холодный период года с температурой $t_n = -12\text{ }^\circ\text{C}$, энтальпией $i = -10\text{ кДж/кг}$ и расходом $M = 7\text{ 000 кг/ч}$ смешивается с воздухом внутри помещения с температурой $t_b = 20\text{ }^\circ\text{C}$, влажностью $\phi_b = 65\%$ и расходом $M = 8\text{ 400 кг/ч}$. Определить параметры смешанного воздуха.

Порядок расчета. На диаграмме находим точки, соответствующие параметрам внутреннего и наружного воздуха, и обозначаем их как А ($t_n = -12\text{ }^\circ\text{C}$, $i = -10\text{ кДж/кг}$) и В ($t_b = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $\phi_b = 65\%$) и соединяем их между собой (рис. 3.5).

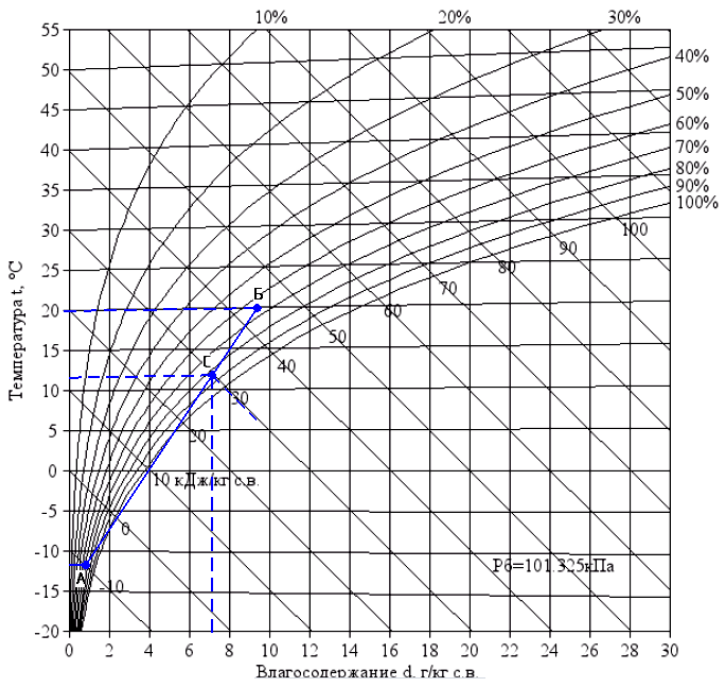


Рис. 3.5. i - d -диаграмма определения параметров смешанного воздуха

Далее для определения параметров в точке С необходимо линейкой измерить длину отрезка АБ. Используем соотношение $M_A / M_B = BC / AC$. Теперь необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} BC + AC = AB, \\ \frac{M_A}{M_B} = \frac{BC}{AC}. \end{cases}$$

Длина отрезка равна 146 мм, т. е. $BC + AC = 146$, тогда $AC = 146 - BC$. Подставляем значение BC во второе уравнение: $(146 - BC) / BC = 7\,000 / 8\,400$, после решения уравнения получаем $BC = 66$ мм, а $AC = 80$ мм. Отмеряем от точки A 80 мм и ставим точку C . Находим параметры точки C ($d = 7,2$ г/кг, $t = 12,5$ °С, $\varphi = 85$ %, $i = 30$ кДж/кг).

Пример 3.2. Определить параметры приточного и удаляемого воздуха в зрительном зале кинотеатра.

Исходные данные:

1. Зал кинотеатра имеет площадь 400 м^2 и высоту 6 м.
2. Температура воздуха $t_{\text{в}} = 18$ °С, относительная влажность воздуха $\varphi_{\text{в}} = 60$ %.
3. Выделения полной теплоты в помещение составляют 55 000 Вт, количество явной теплоты – 51 000 Вт, влаговыделения – 12 кг/ч.
4. Параметры приточного и удаляемого воздуха необходимо определить для двух вариантов: а) если воздух подается через плафоны; б) если воздух подается непосредственно в рабочую зону (на высоту 1,5 м от пола).

Порядок расчета.

1. В соответствии с подразделом 3.4.4 параметры приточного воздуха могут быть определены по формуле (3.13):

а) $t_{\text{п}} = 18 - 10 = 8$ °С;

б) $t_{\text{п}} = 18 - 2 = 16$ °С.

2. Определим удельные выделения явной теплоты по формуле (3.10):

$$q_{\text{я}} = \frac{51\,000}{400 \cdot 6} = 21,25 \text{ Вт/м}^3.$$

Согласно формуле (3.9) и табл. 3.8 температура удаляемого воздуха составит:

для теплого периода года

$$t_{\text{у}} = 18 + 1,2 \cdot (6 - 1,5) = 23,4 \text{ °С};$$

для холодного периода

$$t_{\text{у}} = 18 + 0,3 \cdot (6 - 1,5) = 19,4 \text{ °С}.$$

3. Определим численное значение углового коэффициента луча процесса, кДж/кг, по формуле

$$\varepsilon = \frac{3,6 \cdot \sum Q_{\text{изб}}^{\text{пол}}}{W},$$

где $\sum Q_{\text{изб}}^{\text{пол}}$ – поток полной теплоты, Вт;

W – расход влаги, кг/ч.

Этот параметр называют также тепловлажностным отношением, так как он показывает величину приращения количества полной теплоты на 1 кг полученной (или отданной) воздухом влаги.

Определяем положение луча процесса на i - d -диаграмме влажного воздуха и положение точки B_0 , отвечающее начальному состоянию воздуха (рис. 3.6).

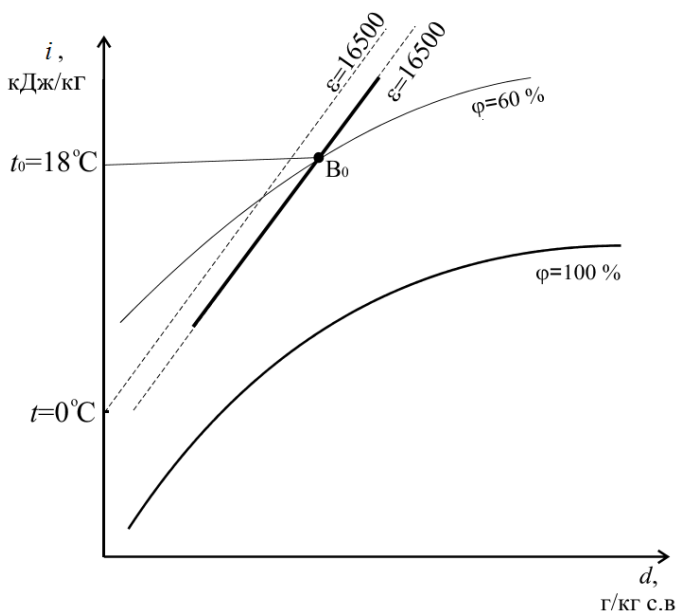


Рис. 3.6. Положение точки B_0 на i - d -диаграмме влажного воздуха

Затем определяем положение линии, соответствующей значению $\varepsilon = 16\,500$ кДж/кг (на рисунке пунктирная линия), проходящей через точку $(0^\circ\text{C}, d = 0)$, соединяя точку 0°C на оси i с линией 16 500 на шкале угловых коэффициентов, нанесенных по периметру i - d -диаграммы влажного воздуха.

Через точку B_0 проводим линию, параллельную пунктирной. Эта линия является лучом процесса изменения состояния воздуха в помещении.