

Подстрочные индексы

1	ВВЕДЕНИЕ	
	Цели и задачи настоящего руководства _____	9
	О руководстве _____	9
2	ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА	
	Общие сведения _____	11
3	ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА	
	Введение _____	13
	Температура сухого термометра $t_{\text{сух}}$ _____	14
	Температура влажного термометра $t_{\text{вл}}$ _____	14
	Содержание влаги, x _____	14
	Энтальпия, h _____	14
	Насыщение _____	14
	Относительная влажность, φ _____	14
	Диаграмма Молье _____	15
	Нагрев _____	16
	Охлаждение _____	17
	Увлажнение водой и паром _____	18
	Смешение двух потоков воздуха _____	19
	Смешение двух потоков воздуха с образованием тумана _____	20
	Различные климатические условия на диаграмме Молье _____	21
	Резюме _____	22
4	ГИДРОГАЗОДИНАМИКА	
	Введение _____	25
	Ламинарное и турбулентное течение _____	25
	Закон подобия Рейнольдса _____	25
	Определение давления _____	26
	Течение в трубах и воздуховодах _____	26
	Перепад давления _____	28
	Резюме _____	29
5	ТЕПЛОБМЕН	
	Введение _____	31
	Теплопроводность _____	31
	Конвекция _____	32
	Тепловое излучение _____	32
	Классификация _____	32
	Резюме _____	33
6	ОХЛАЖДЕНИЕ	
	Введение _____	35
	Охлаждение _____	36
	Мощность охлаждения _____	37
	Энергопотребление _____	37
	КПД охлаждения _____	37
	КПД обогрева _____	37
	Резюме _____	38

7	УТИЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГИИ ОБОГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ	
	Введение _____	41
	Временной график _____	42
	Определения _____	43
	Эффективность _____	43
	Резюме _____	45
8	РАСЧЕТЫ ЗАТРАТ НА СРОК СЛУЖБЫ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ	
	Введение _____	47
	Затраты на электроэнергию на срок службы _____	47
	Затраты на электроэнергию и выбросы углекислого газа _____	47
	Снижение затрат на электроэнергию _____	48
	Принципы расчета энергопотребления и затрат на электроэнергию на срок службы _____	48
	Расчет температуры _____	48
	Компенсация температуры наружного воздуха _____	49
	Продолжительность работы _____	49
	Вентиляционная система с переменным расходом воздуха _____	50
	Временной график _____	50
	Резюме _____	51
9	ЗВУК	
	Введение _____	53
	Звук _____	53
	Частота _____	54
	Коррекция по шкале А _____	55
	Источники шума в вентиляционных установках _____	55
	Связь уровня звуковой мощности и уровня звукового давления _____	56
	Вне помещения _____	56
	В помещении _____	56
	Уровень звукового давления в рабочих и жилых помещениях _____	57
	Как выбрать тихую вентиляционную установку _____	57
	Резюме _____	58
10	ВОЗДУШНЫЕ КЛАПАНЫ	
	Введение _____	61
	Регулирование расхода воздуха _____	61
	Смешение потоков воздуха _____	61
	Свойства смеси _____	62
	Регулирование расхода воздуха в режиме обхода _____	63
	Запорные воздушные клапаны _____	63
	Створки воздушного клапана _____	64
	Утечка воздуха из закрытого воздушного клапана _____	65
	Утечка воздуха через корпус воздушного клапана _____	65
	Необходимый крутящий момент _____	65
	Давление _____	65
	Резюме _____	66
11	ФИЛЬТРЫ	
	Введение _____	69
	Загрязнения в окружающем воздухе _____	69
	Принцип работы фильтра твердых частиц _____	70
	Испытания и классификация фильтров твердых частиц _____	72

Перепад давления на фильтре твердых частиц	73
Угольные (сорбционные) фильтры	74
Фильтры в вентиляционных установках	74
Предварительные фильтры	74
Фильтры тонкой очистки	75
Высокоэффективные фильтры HEPA	75
Угольные фильтры	76
Монтаж	76
Резюме	77

12 ГЛУШИТЕЛИ

Введение	79
Снижение уровня шума	79
Диссипативные глушители	79
Реактивные глушители	79
Ширина	80
Длина	80
Перепад давления на глушителе	80
Собственный шум глушителя	81
Место установки глушителя	81
Методы измерений	81
Резюме	82

13 ВЕНТИЛЯТОРЫ

Введение	85
Типы вентиляторов	85
Центробежные вентиляторы	86
Прямоточные вентиляторы	87
Осевые вентиляторы	87
Графики вентиляторов	88
Формулы для расчета вентиляторов	89
Кривые систем	90
Совместимость вентиляционной системы и вентилятора	90
Влияние изменений характеристик вентиляционной системы	90
Параллельная работа вентиляторов	91
Эффект вентиляционной системы	92
Отводы воздуховодов	92
Жалюзийный воздушный клапан	92
Эффективность вентилятора	92
Нагрев воздуха на вентиляторе	92
Балансировка лопастного колеса вентилятора	93
Собственная частота колебаний	93
Собственная частота колебаний виброизолирующих опор	93
Максимальная допустимая скорость вибрации	93
Шум	93
Виброизоляция	94
Система привода вентилятора	95
Прямой привод	95
Система ременного привода	96
Ременный привод	96
Привод с клиновидным ремнем	96
Привод с плоским ремнем	96
Привод с микроклиновидным (поликлиновидным) ремнем	96

Привод с плоским ремнем	96
Привод с микроклиновидным (поликлиновидным) ремнем	96
Электродвигатели вентиляторов	97
Трехфазные асинхронные электродвигатели	97
Крутящий момент	97
Эффективность электродвигателя	98
Прямой пуск односкоростного электродвигателя от сети	98
Пуск односкоростного электродвигателя переключением со звезды на треугольник	98
Пуск двухскоростного электродвигателя и управление его работой	98
Защита электродвигателя от перегрузки	98
Оборудование для тяжелого пуска	98
Защита от выпадения из синхронизма	98
Электродвигатели с электронной коммутацией	99
Высокая эффективность	99
Регулирование скорости	99
Особенности электродвигателей с электронной коммутацией	99
Классификация электродвигателей по эффективности	100
Время пуска электродвигателей без частотного преобразователя	100
Сравнение времени пуска электродвигателя с максимальным допустимым значением	101
Сравнение времени пуска электродвигателя со временем срабатывания защиты от перегрузки	101
Схемы электрического подключения электродвигателей	101
Удельная мощность вентилятора SFP	102
Удельная мощность вентилятора SFPv	102
Энергоэффективные вентиляторы	103
Управление вентилятором	103
Резюме	104

14 ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛИ И ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛИ

Введение	107
Конструкция	108
Различные схемы теплообменников	108
Контур теплообменника	109
Теплообменники для испаряющегося хладагента	110
Схема разделение контуров по выходным ступеням	110
Нормальные скорости движения жидкости в теплообменниках	110
Модули охлаждения	111
Испаритель	111
Компрессор	111
Конденсатор	111
Расширительный клапан	111
Реле высокого давления	112
Реле высокого давления (функционирующее)	112
Реле низкого давления	112
Жидкостной фильтр	112
Смотровое окно	112
Приемники хладагента	112
Конденсатор с водяным охлаждением	112
Выбор модуля охлаждения	112
Непрямое испарительное охлаждение	113
Увлажнение удаляемого воздуха или наружного воздуха	114
Расчет производительности по охлаждению	114

	Охлаждение в ночное время	114
	Энергозатраты и стоимость эксплуатации	114
	Гигиена	114
	Электрические воздухонагреватели	115
	Резюме	115
15	ТЕПЛОБМЕННИКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ ОБОГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ	
	Введение	117
	Роторные теплообменники	118
	Продувочный сектор	119
	Замораживание	120
	Оттаивание	120
	Антикоррозийная защита	120
	Области применения	120
	Гигроскопичные и негигроскопичные роторы	121
	Системы с двумя роторами	123
	Пластинчатые теплообменники	124
	Конструкция	124
	Замораживание и оттаивание	124
	Утечки	124
	Антикоррозийная защита	124
	Системы с промежуточным теплоносителем	125
	Конструкция	125
	Характеристики	125
	Эффективность	125
	Регулирование и предотвращение замерзания	125
	Незамерзающий теплоноситель	125
	Система ECONET®	126
	Функционирование системы	126
	Эффективность теплообмена и перепад давления	127
	Сравнение решений	127
	Резюме	128
16	УВЛАЖНИТЕЛИ	
	Введение	131
	Принципы работы увлажнителей	131
	Контактные увлажнители	132
	Функционирование	132
	Гигиена	132
	Управление	132
	Паровые увлажнители	133
	Форсуночные увлажнители	133
	Требования к качеству воды	133
	Резюме	134
17	СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	
	Введение	137
	Динамические характеристики	138
	Различные типы контроллеров и принципы их работы	139
	Включение и выключение	139
	Многоступенчатое управление	139
	Пропорциональное управление	140
	Интегральное управление	140

Пропорционально-интегральное управление (ПИ-управление)	141
Пропорционально-интегрально-дифференциальное управление (ПИД-управление)	141
Каскадное управление	141
Устройства управления в вентиляционных установках	142
Регулирование исходя из температуры приточного воздуха	142
Регулирование исходя из температуры удаляемого воздуха	142
Регулирование исходя из температуры воздуха в помещении	143
Регулирование расхода воздуха и давления (управление вентилятором)	143
Ступенчатое управление	145
Примеры управления различными процессами в сфере отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха	146
Роторный теплообменник	146
Пластинчатый теплообменник	146
Теплообменник с промежуточным теплоносителем	147
Теплообменники обогрева и охлаждения	147
Регулирование расхода воды	147
Байпасное регулирование	148
Электрический воздушнонагреватель	149
Дополнительные функции	149
Компенсация температуры наружного воздуха	149
Обогрев в ночное время	150
Охлаждение в ночное время (естественное охлаждение)	150
Регулирование концентрации углекислого газа	151
Общее управление вентиляционной установкой	151
Защита от замораживания	151
Аварийные сигналы	151
Коммуникация	152
Резюме	153

18 МЕТОДЫ И СТАНДАРТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Введение	155
Погрешность измерения	155
Температура	156
Термопары	156
Термометры сопротивления	156
Давление и расход	156
Мембранные датчики давления	156
Жидкостные манометры (U-образные трубки)	157
Расчет расхода воздуха	157
Атмосферная влажность	158
Стандарты	158
Резюме	159

19 ФОРМУЛЫ

Сборник формул	161
Формулы	164
Параметры состояния воздуха	164
Газодинамика	164
Теплообмен	165
Охлаждение	165
Утилизация энергии обогрева и охлаждения	166
Шум	167
Вентиляторы	168
Список источников	170



1 Введение



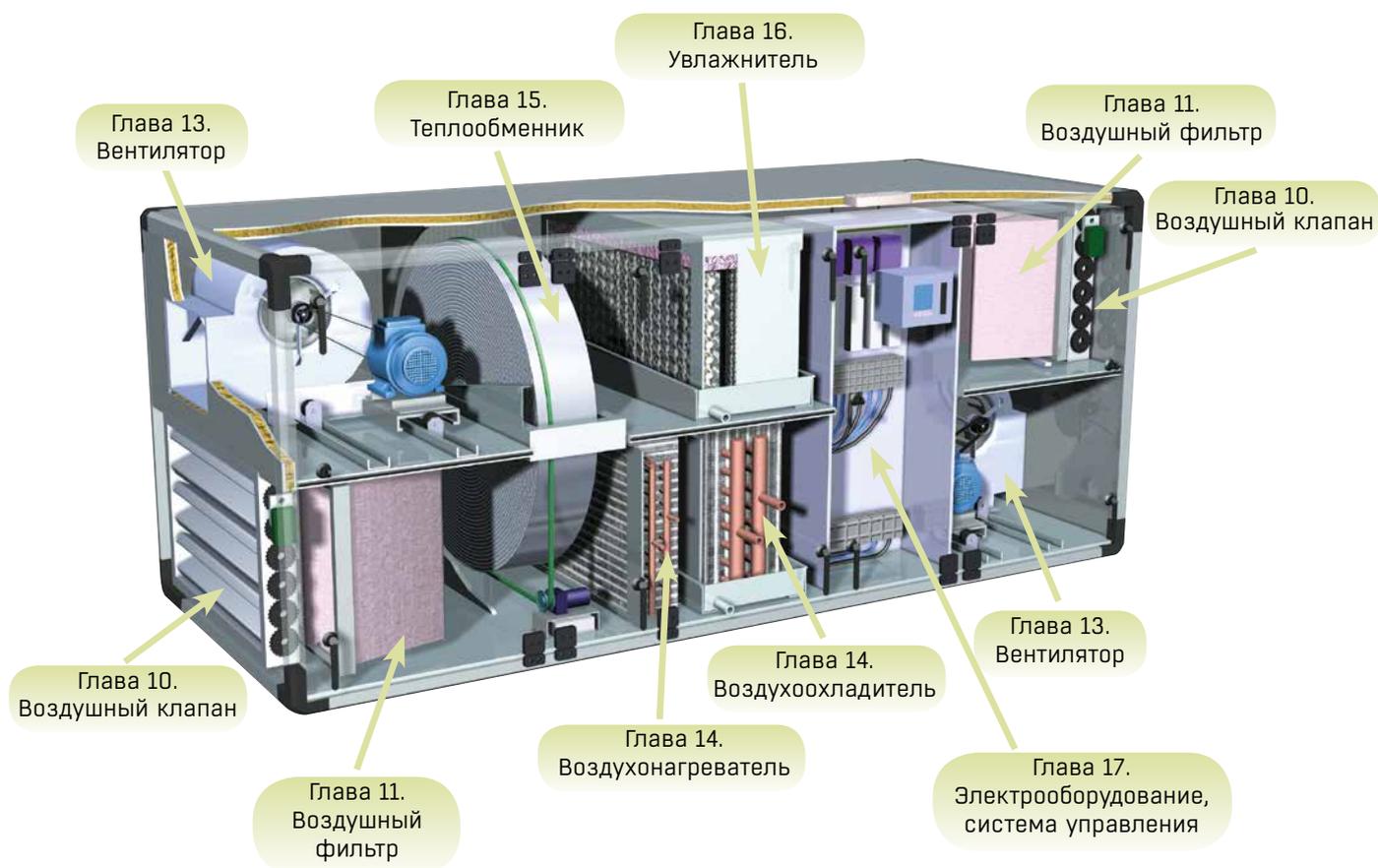
Цели и задачи настоящего руководства

Настоящее руководство является дополнением к каталогам продукции и решений в сфере вентиляции, в которых описываются различные вентиляционные установки компании Flåkt Woods. В руководстве собраны сведения, необходимые для проектирования, выбора и монтажа вентиляционных установок и их компонентов. Данное руководство позволит вам углубить свои знания в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также непосредственно в области вентиляционных установок.

О руководстве

Настоящее руководство состоит из двух основных частей. Первые главы руководства содержат теоретическое описание процессов, происходящих в различных компонентах вентиляционной установки, а также на их входах и выходах. В последующих главах описаны отдельные компоненты вентиляционных установок. Вначале описываются воздушные клапаны, затем фильтры, и далее последовательно все компоненты вентиляционной установки. В конце руководства приводятся необходимые формулы.

В начале каждой главы приводится ее краткое содержание, а в конце — резюме изложенного.



Общие сведения о системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха



Вентиляционные установки предназначены для очистки, нагрева, охлаждения и подачи воздуха с целью создания комфортного микроклимата в помещении. Помимо этого, вентиляционные установки могут использоваться в качестве источника воздуха требуемого состава в различных промышленных процессах.

Обычно мы проветриваем помещения, чтобы удалить из них загрязненный воздух. Помимо этого, например, в офисных помещениях воздух может иметь чрезмерно высокую температуру. Избыточное тепло также может рассматриваться как загрязнение, от которого необходимо избавиться. Удаляемый воздух заменяется приточным. При этом приточный воздух должен иметь надлежащую температуру, а его подача не должна приводить к возникновению сквозняков или мешающего шума.

В конструкции вентиляционной установки предусмотрено наличие фильтра, позволяющего очистить воздух перед его подачей в помещение. Воздушные фильтры различных типов имеют разные назначения. Они могут быть предназначены для удаления твердых частиц, паров или газов.

Температура и влажность наружного воздуха постоянно меняются. В один день на улице может быть жарко и влажно, а в другой — морозно и сухо. В помещении температура может колебаться приблизительно в пределах от 19 до 26°C. Вентиляционная установка нагревает или охлаждает наружный воздух до требуемой температуры. Для этого в ее конструкции предусмотрены теплообменники нагрева и охлаждения.

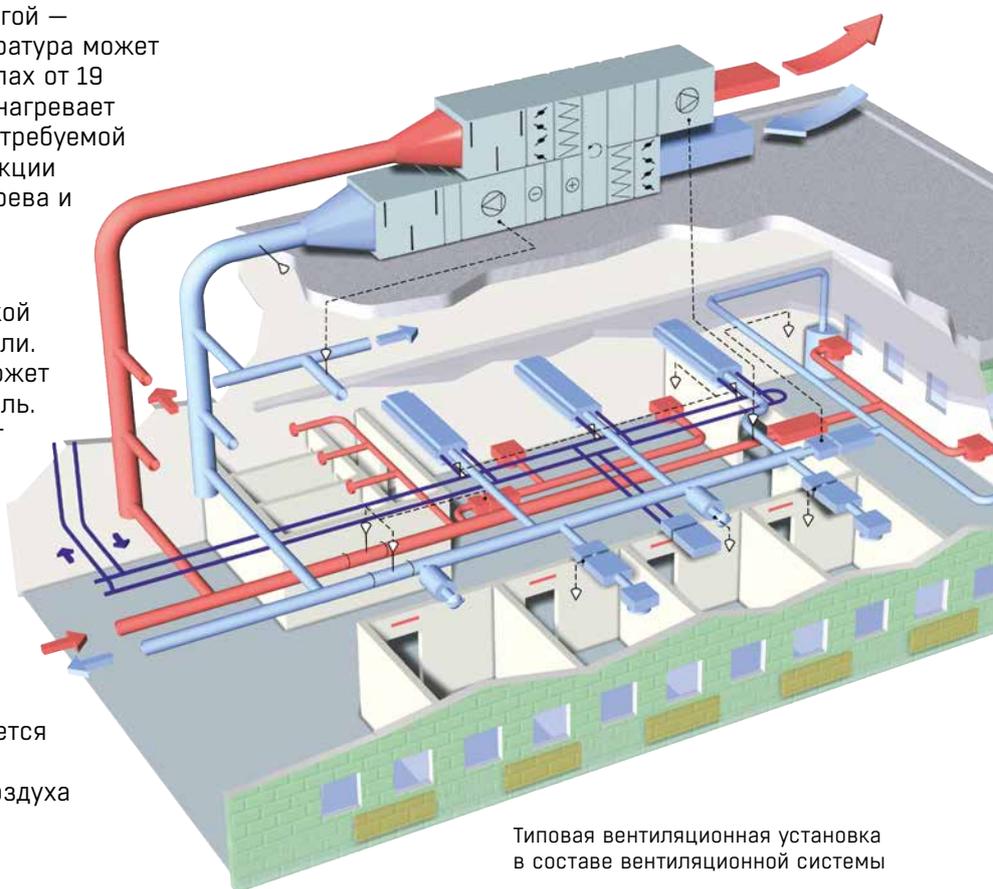
Влажность воздуха также может регулироваться. При чрезмерно низкой влажности используются увлажнители. Если влажность излишне высока, может использоваться, например, охладитель. При охлаждении воздуха происходит конденсация содержащейся в нем влаги, в результате чего его влажность снижается.

Приточный вентилятор предназначен для прокачки воздуха через вентиляционную установку и его подачи в помещения по системе воздуховодов. Побочным продуктом работы вентилятора является шум. Поэтому в системе отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха

могут быть предусмотрены глушители, позволяющие снизить уровень шума в помещениях. При перекачивании воздуха с помощью вентиляторов его температура повышается, т.к. любое движение приводит к нагреву. Помещение, в которое подается воздух, как правило, необходимо оборудовать системой вытяжки. Объем удаляемого ей воздуха должен быть равен объему приточного воздуха. Удаление воздуха из помещения осуществляется с помощью вентиляторов.

В Северной Европе удаляемый воздух обычно теплее наружного, особенно зимой. Эта теплота нередко утилизируется с помощью теплообменников, что позволяет снизить стоимость эксплуатации здания. Напротив, в регионах, в которых удаляемый воздух обычно холоднее наружного, возможна утилизация энергии охлаждения.

Все описанные выше процессы осуществляются с помощью различных компонентов вентиляционной установки, заключенных в изолированный герметичный и прочный корпус.



Типовая вентиляционная установка в составе вентиляционной системы

3

ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА



Краткое содержание главы

- Параметры состояния воздуха.
 - Температура.
 - Содержание воды.
 - Энтальпия.
 - Относительная влажность.
- Диаграмма Молье

Наружный воздух представляет собой смесь множества газов (главным образом азота и кислорода), пара (главным образом водяного) и частиц пыли.

Для понимания процессов, происходящих в вентиляционной установке, достаточно рассматривать воздух как смесь сухого газа и водяного пара. Данную смесь мы будем называть влажным воздухом. Количество водяного пара, содержащегося в воздухе, не может превышать определенного значения. Достижение этого значения называется насыщением. Данное значение зависит от температуры и давления воздуха.

В сфере отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха обычно рассматривают воздух как смесь газов, находящуюся под нормальным атмосферным давлением. Если воздух в условиях постоянного давления насыщен влагой, дальнейшее увеличение концентрации водяных паров в нем возможно только при увеличении температуры.

Если насыщенный влагой воздух охлаждается, в нем образуется конденсат. Так зимой запотевают окна ванной комнаты. Для описания различных состояний влажного воздуха используется ряд физических величин. Чтобы описать состояние влажного воздуха, необходимо знать его давление и два других независимых параметра.

Проектировщики вентиляционных систем должны быть знакомы с различными параметрами, описывающими состояние воздуха. Это необходимо для создания в помещении требуемого микроклимата.

Термины и определения

Ниже перечислены различные физические величины, используемые для описания состояния воздуха.

Температура сухого термометра, $t_{\text{сух}}$

Температура, которую мы изменяем с помощью «обычного» термометра, например, комнатного, называется температурой сухого термометра. При выборе воздухонагревателя, воздухоохладителя и увлажнителя для вентиляционной установки температура сухого термометра используется в качестве одной из двух необходимых величин.

Температура влажного

термометра $t_{\text{вл}}$

Если колбу термометра обернуть увлажненной тканью, она будет охлаждаться за счет испарения воды, поэтому термометр покажет меньшую температуру. Чем более сухим является окружающий воздух, тем выше скорость испарения и тем более низкими будут показания термометра. Таким образом, исходя из температуры влажного термометра можно определить влажность воздуха.

Содержание влаги, x

Содержание влаги — это количество воды, имеющейся в воздухе. Данная величина обычно выражается в килограммах воды на килограмм воздуха. Воздух в помещении обычно содержит 5-10 грамм воды на килограмм воздуха.

Энтальпия, h

Энтальпия — это количество энергии в воздухе за вычетом количества энергии в том же воздухе при стандартных условиях. Энтальпия выражается в кДж/кг.

В системе СИ стандартными условиями считаются 0°C и нулевое содержание влаги. При изменении различных условий энтальпия воздуха меняется. Иными словами, при этом воздух получает дополнительную энергию или отдает ее.

Степень насыщения

Степень насыщения воздуха — это отношение текущего содержания воды в воздухе к содержанию воды в воздухе при насыщении. Данная величина выражается в процентах.

Относительная влажность, ϕ

Относительная влажность воздуха — это отношение текущего парциального давления водяного пара в воздухе к парциальному давлению водяного пара в воздухе при насыщении. Данная величина выражается в процентах. Иными словами, относительная влажность — это отношение текущего количества водяного пара в воздухе к максимально возможному при данной температуре количеству.

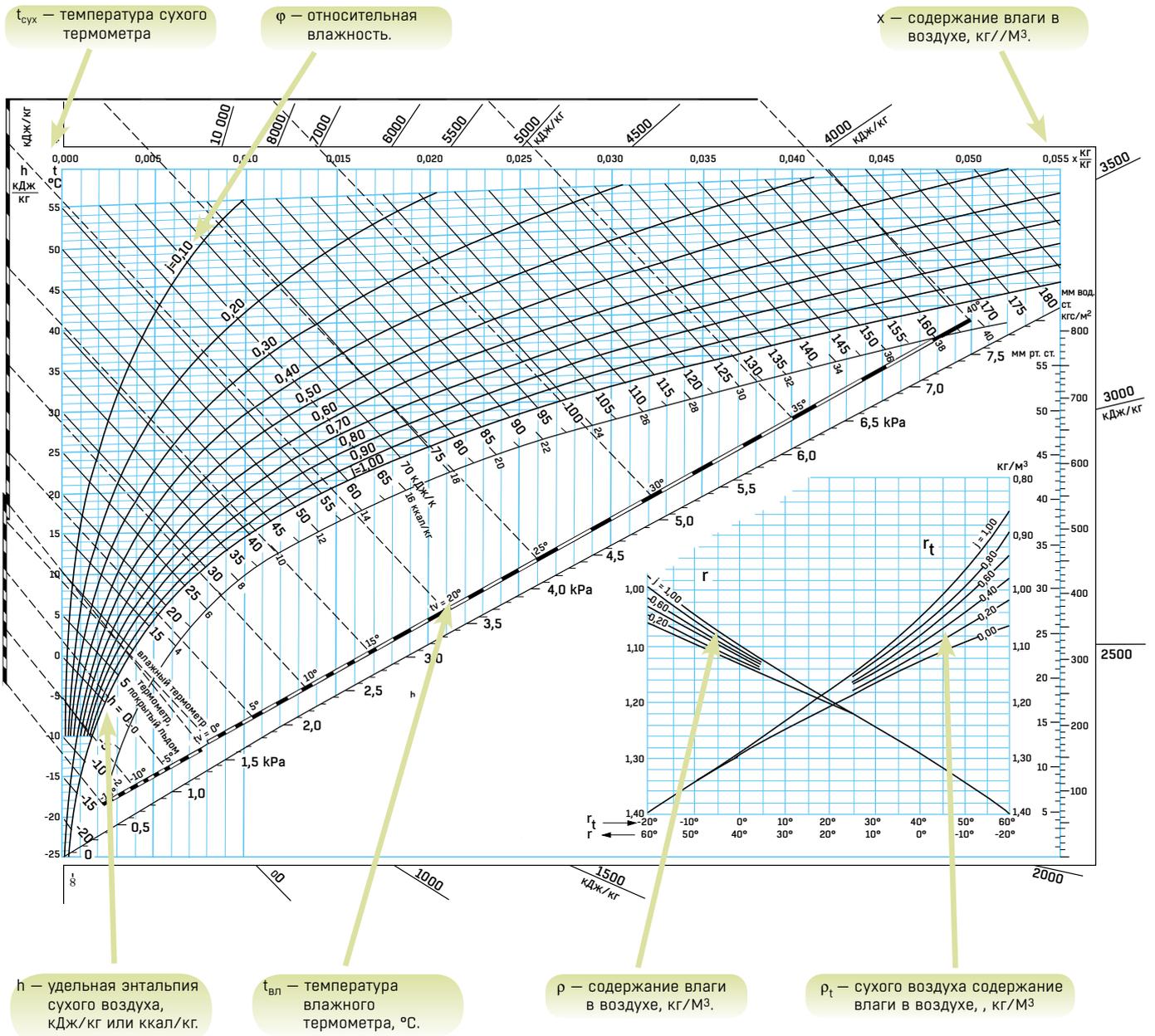
Диаграмма Молье

Диаграммы Молье используются при расчетах процессов, связанных с отоплением и кондиционированием воздуха. Среди прочего, они позволяют рассчитать изменения температуры и влажности, а также количества энергии, необходимых для нагрева и охлаждения воздуха. С помощью программы выбора продукции ACON компании Fläkt Wood диаграмма Молье для требуемого процесса, происходящего в вентиляционной установке, может быть построена автоматически.

Обозначения

- h – энтальпия сухого воздуха, кДж/кг или ккал/кг.
- x – содержание влаги в сухом воздухе, кг/кг.
- φ – относительная влажность.
- $t_{\text{сух}}$ – температура сухого термометра, °С.
- $t_{\text{вл}}$ – температура влажного термометра, °С.
- ρt – плотность как отношение массы сухого воздуха к объему влажного воздуха, кг/м³.
- ρ – плотность как отношение массы влажного воздуха к объему влажного воздуха, кг/м³.

Диаграмма рассчитана для барометрического давления 760 мм рт. ст. (101,3 кПа).



Нагрев

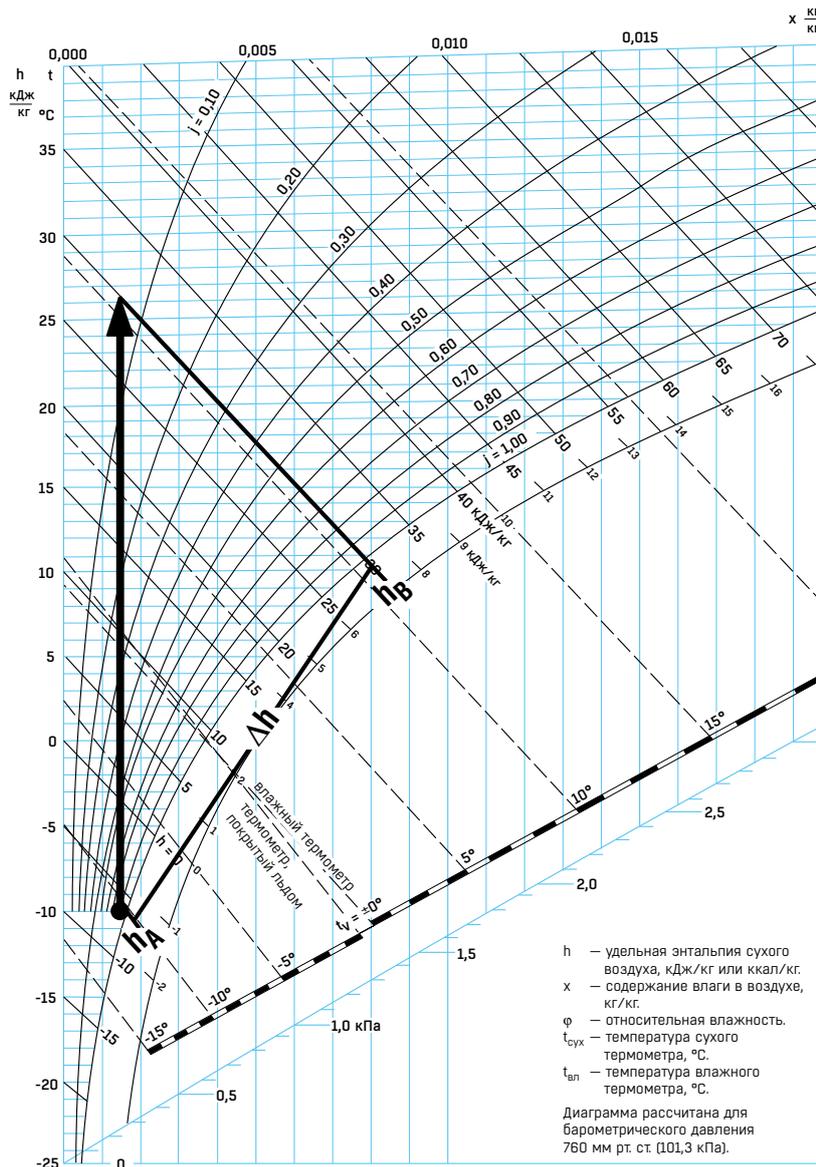
В процессе нагрева содержание водяных паров в воздухе остается неизменным, поэтому данный процесс отображается на диаграмме в виде прямой вертикальной линии. При этом энтальпия и температура сухого термометра возрастают.

Для расчета требуемой мощности обогрева P может использоваться следующая формула:

$$P = \Delta h \cdot q_{\text{в}} \cdot \rho_t = (h_{\text{в}} - h_{\text{а}}) \cdot q_{\text{в}} \cdot \rho_t$$

где

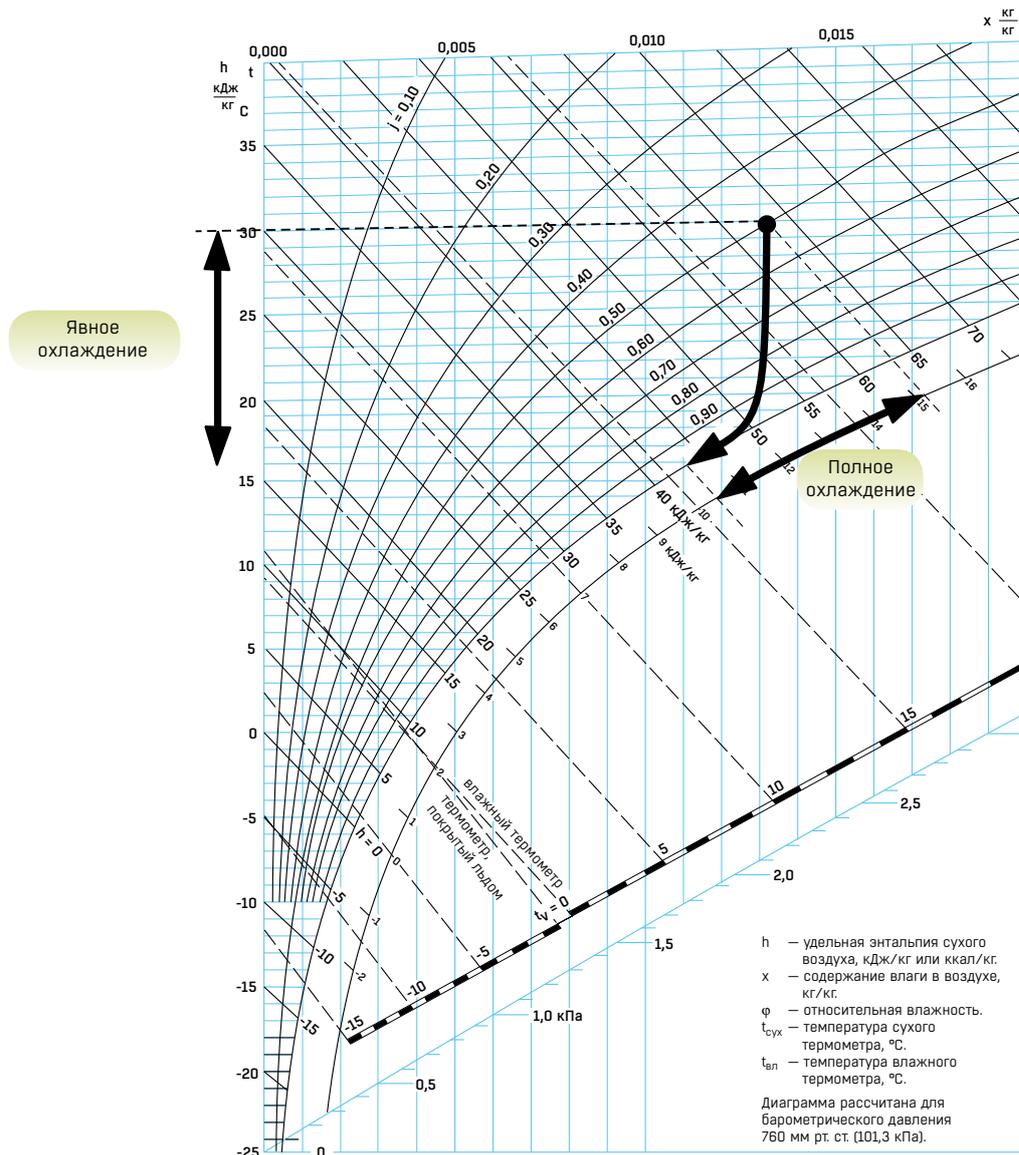
- P — мощность обогрева, кВт;
- Δh — изменение энтальпии сухого воздуха, кДж/кг;
- $q_{\text{вл}}$ — расход влажного воздуха, м³/с;
- ρ_t — плотность как отношение массы сухого воздуха к объему влажного воздуха, кг/м³.



Охлаждение

В процессе охлаждения часто достигается точка росы и влага конденсируется. Полная холодильная нагрузка может быть легко рассчитана из изменения энтальпии, а явное охлаждение (охлаждение без учета конденсации) — по изменению температуры сухого термометра. Форма кривой данного процесса на диаграмме

может меняться в зависимости от конструкции охлаждающего теплообменника.



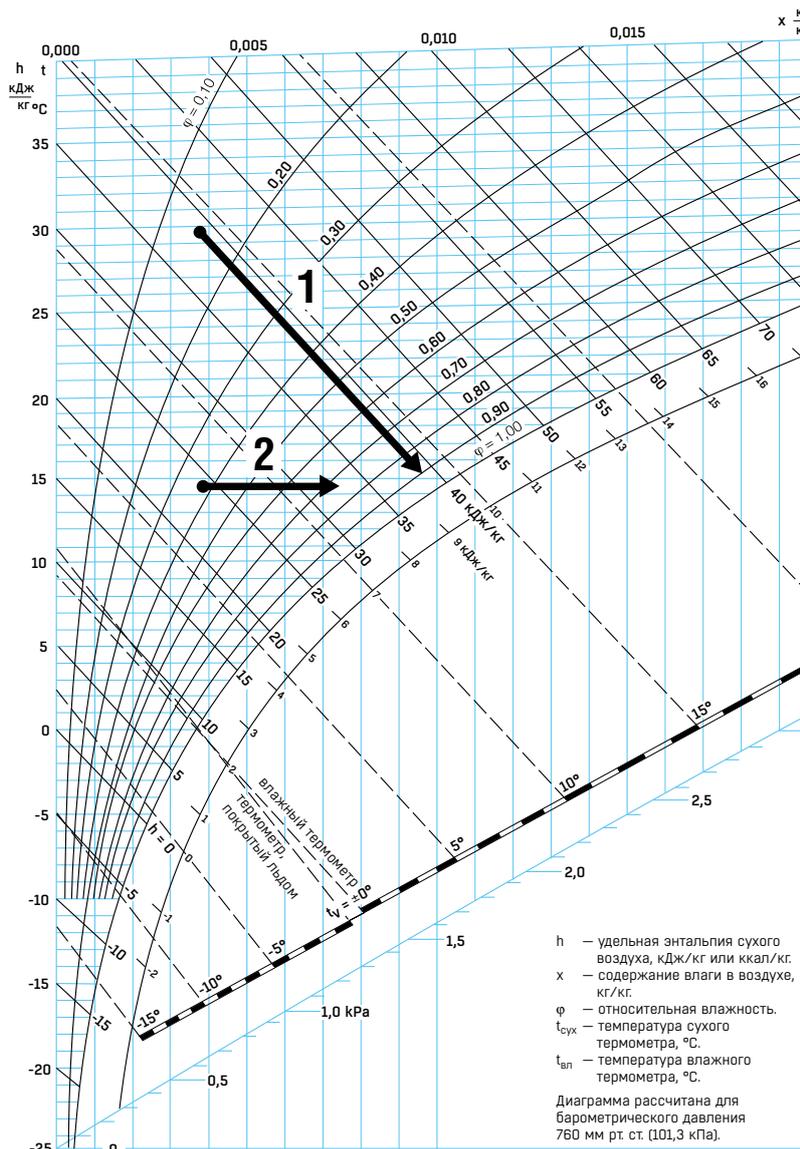
Увлажнение водой и паром

Увлажнение — это процесс увеличения содержания воды в воздухе. Увлажнение может осуществляться, например, путем подачи пара или путем испарения воды.

1. Увлажнение путем испарения воды
Тепло, необходимое для испарения воды, забирается из воздуха, в результате чего воздух охлаждается. Если вода циркулирует в увлажнителе, вскоре достигается температура адиабатического насыщения. Это означает, что процесс описывается линией для влажного термометра.

Если вода подается напрямую в увлажнитель, ход процесса будет определяться ее температурой. Очень холодная вода охлаждает воздух сильнее, чем более теплая.

2. Увлажнение паром
При использовании пара линия процесса на диаграмме будет практически горизонтальной. В этом случае температура воздуха по сухому термометру меняется незначительно. Расход пара рассчитывается из разницы в содержании воды, умноженной на объемный расход воздуха.



Смешение двух потоков воздуха

При смешении двух объемов сухого воздуха m_1 и m_2 , состояния которых соответствуют точкам A_1 и A_2 , точка смешения B находится на прямой линии, соединяющей эти две точки.

Ее положение может быть определено графически путем деления линии A_1A_2 на два отрезка, длина которых находятся из соотношения:

$$L_1/L_2 = m_2/m_1.$$

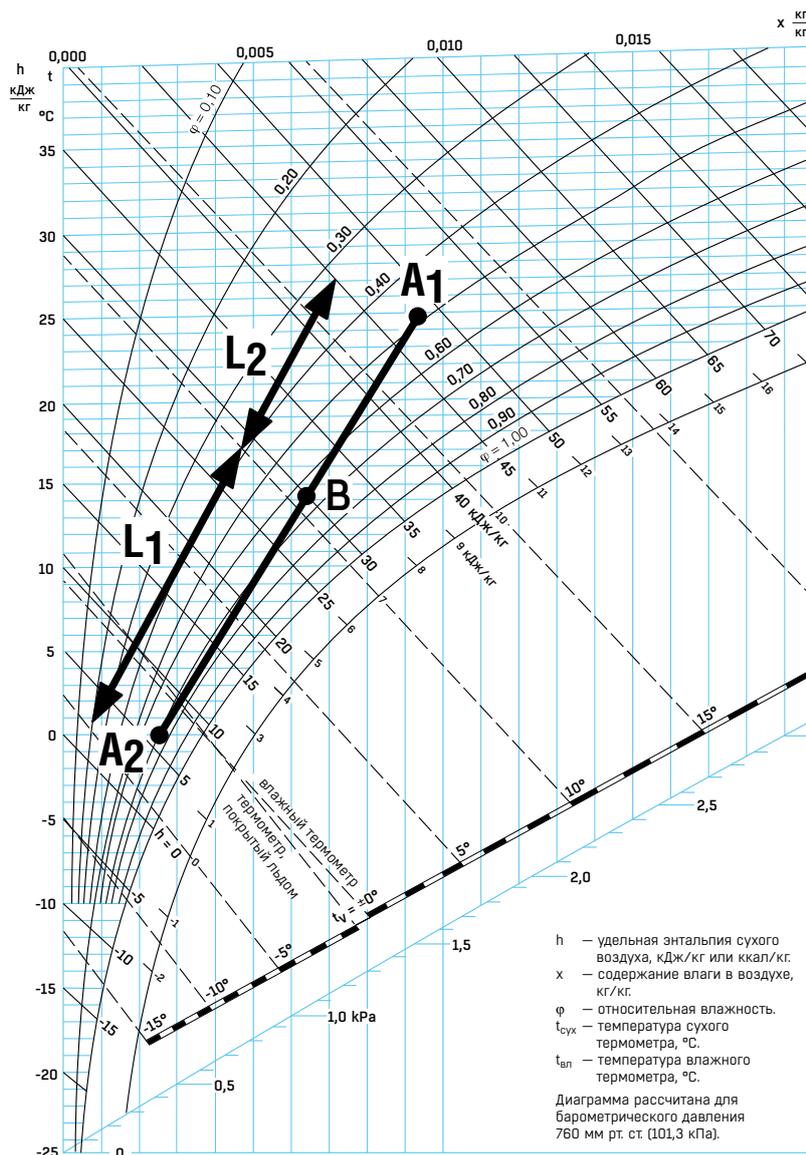
Тот же результат может быть получен из расчета с использованием значений абсолютной влажности:

$$B = \frac{m_1 \cdot X_1 + m_2 \cdot X_2}{m_1 + m_2}$$

где

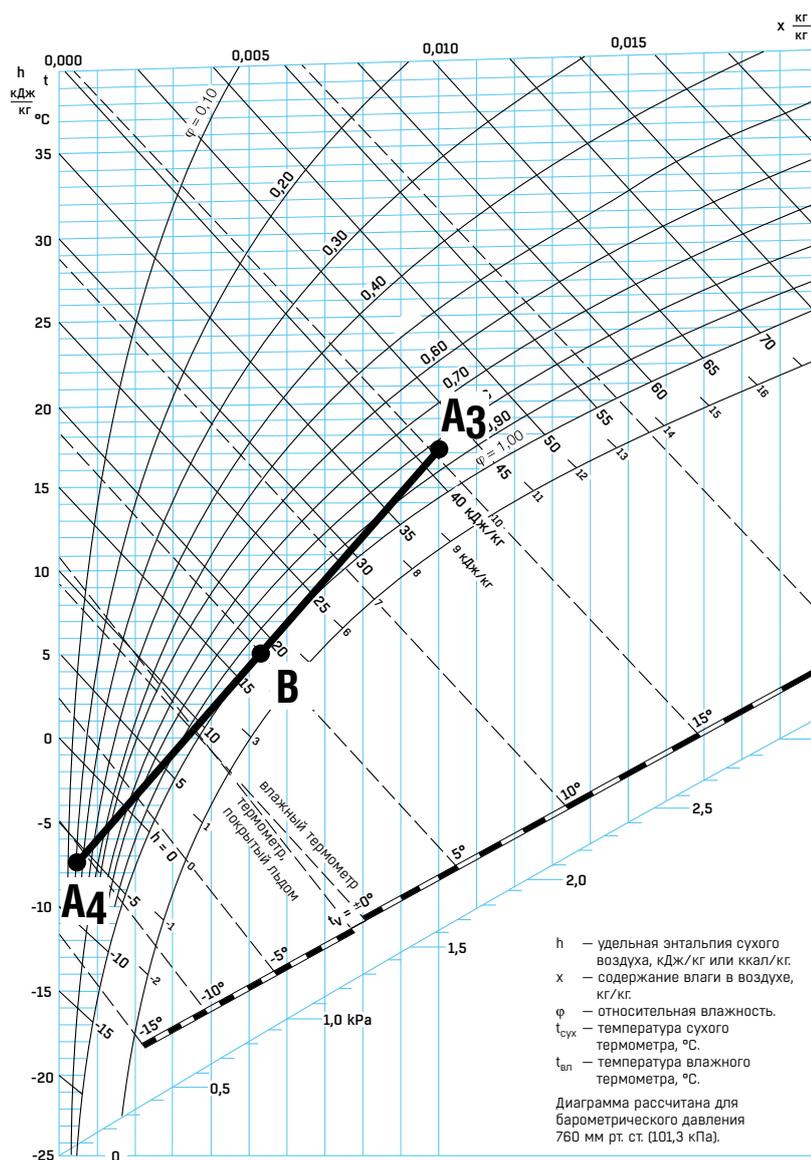
B — точка смешения, кг/кг;

m_1 и m_2 — объем воздуха в точках 1 и 2



Смешение двух потоков воздуха с образованием тумана

При смешении двух потоков воздуха, не насыщенных влагой, иногда возможно образование тумана. Это может происходить при смешении двух сходных количеств воздуха, состояния которых соответствуют точкам А3 и А4. В этом случае точка смешения В1 находится ниже линии насыщения, т.е. в зоне образования тумана.



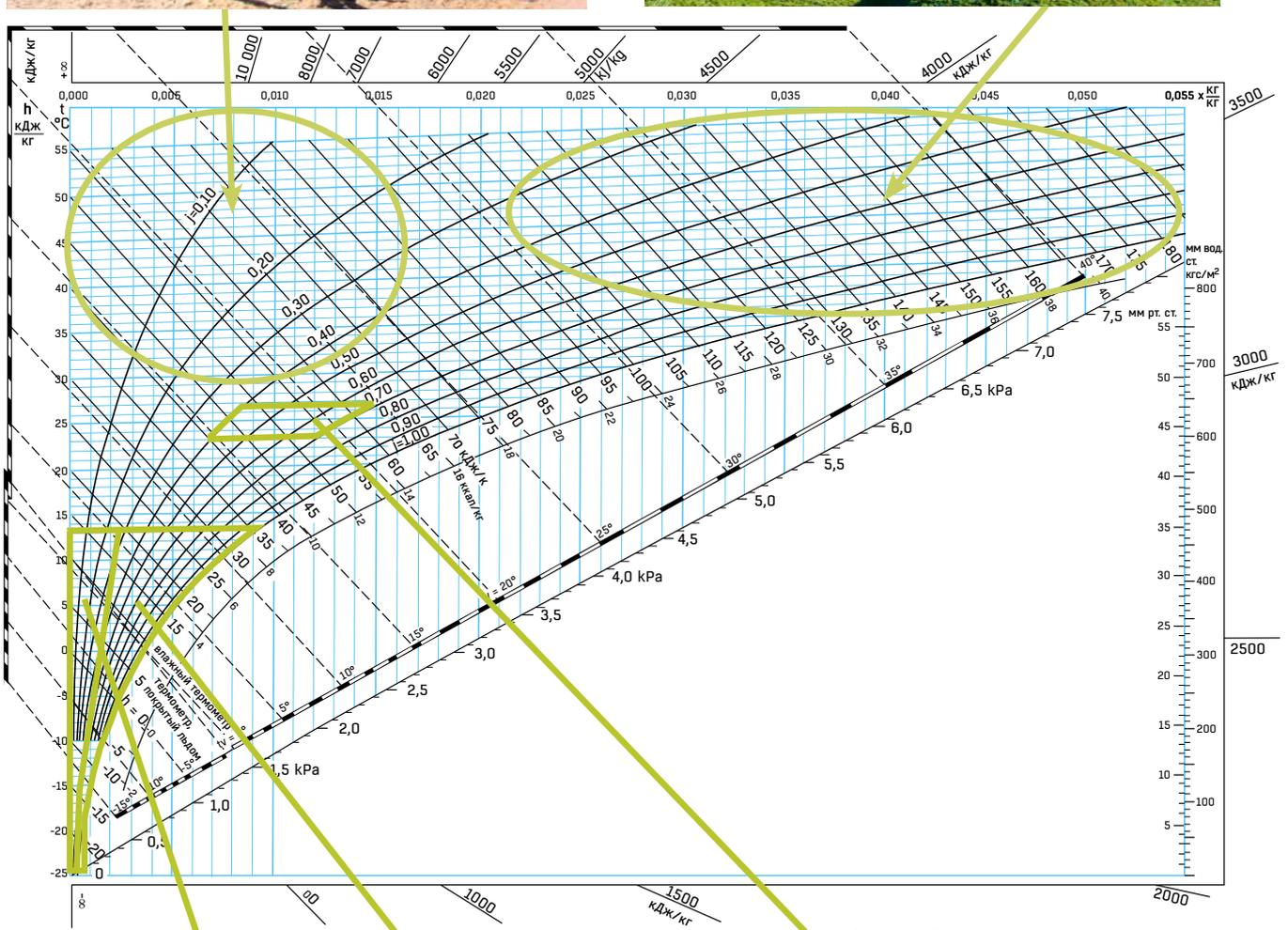
Различные климатические условия на диаграмме Мольте

Различные климатические условия соответствуют областям, очерченным на диаграмме зелеными линиями.

Жарко, воздух сухой



Жарко, воздух влажный



Холодно, воздух сухой



Холодно, воздух влажный



Идеальный микроклимат в офисе:
23-26°C, 40-70% отн. вл.





Наружный воздух представляет собой смесь множества газов, а также водяного пара и частиц пыли. Для понимания процессов, происходящих в вентиляционных установках, воздух следует рассматривать как смесь сухого газа и водяного пара. Данная смесь называется влажным воздухом.

Для описания различных состояний влажного воздуха используются перечисленные ниже физические величины.

- Температура сухого термометра, $t_{сух}$.
- Температура, измеряемая обычным термометром. Выражается в °С.
- Температура влажного термометра, $t_{вл}$. Используется для определения влажности воздуха. Выражается в °С.
- Содержание влаги, x . Отношение массы воды, имеющейся в воздухе, к массе этого воздуха.
- Энтальпия, h . Количество энергии в воздухе за вычетом количества энергии в том же воздухе при 0°С. Выражается в кДж/кг.
- Степень насыщения. Отношение

текущего содержания воды в воздухе к содержанию воды в воздухе при насыщении. Выражается в процентах.

- Относительная влажность, ϕ . Отношение текущего давления водяного пара в воздухе к давлению водяного пара в воздухе при насыщении при той же температуре. Выражается в процентах.

Различные параметры, используемые для описания состояния воздуха, отображаются на диаграмме Молье. Диаграммы Молье используются для описания различных процессов, происходящих в вентиляционной установке, таких как нагрев, охлаждение, осушение и смешение воздуха. Помимо этого, диаграммы Молье позволяют рассчитывать температуру, энергопотребление установки и другие параметры.



4

Гидрогазодинамика



Краткое содержание главы

- Ламинарное течение.
- Турбулентное течение.
- Пограничный слой.
- Число Рейнольдса.
- Статическое, динамическое и полное давление.
- Уравнение Бернулли.

Гидрогазодинамика играет важную роль в целом ряде аспектов проектирования вентиляционных систем. В частности, газодинамические расчеты производятся для потоков воздуха на вентиляторах, в воздуховодах, на фильтрах и в теплообменниках, а также для потоков воды в теплообменниках и трубах. Характеристики воздушных потоков также играют важнейшую роль при решении вопросов теплообмена и снижения уровня шума.

В потоке жидкости или газа действуют силы давления, инерции и трения. Если значения всех действующих сил равны, теоретические расчеты становятся более сложными. При доминировании одной или двух основных сил расчеты упрощаются.

При проектировании вентиляционных систем в большинстве случаев можно пренебречь силами инерции (за исключением случая лопастей вентилятора). Таким образом, поведение потока будет определяться силами давления и трения.

Ламинарное и турбулентное течение

Существуют два принципиально разных вида течения среды. Если скорость потока достаточно низка, среда перемещается параллельно движущимся слоями. Такое течение называется ламинарным.

При более высокой скорости для текущей среды характерны вихревые движения с переменными модулями векторных величин и частотами.

Такое течение называется турбулентным. Турбулентное течение характеризуется значительно большими трением и теплообменом по сравнению с ламинарным. Данный эффект возникает вследствие вихревых движений среды. Вид течения может в значительной степени определять ход процессов теплообмена. Это касается как воздуха, так и воды. Если вода перемещается в трубе в виде ламинарных слоев, теплообмен резко снижается, а управление течением становится затруднительным.

Закон подобия Рейнольдса

Закон подобия Рейнольдса позволяет определить, ламинарным или турбулентным является течение.

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{wL}{\nu}$$

где

w — скорость движения среды, м/с;

L — характерный размер, м

(при движении воздуха по воздуховоду характерный размер L равен диаметру воздуховода d);

ν — кинематическая вязкость среды, м²/с.

Благодаря закону подобия Рейнольдса можно определить, ламинарным или турбулентным является поток. В экспериментах с воздуховодами различных форм были установлены приблизительные значения числа Рейнольдса $Re_{кр}$, при которых поток воздуха превращается из ламинарного в турбулентный.

В воздуховодах это происходит при $2300 < Re_{кр} < 4000$. В случае движения потока между плоскими пластинами число Рейнольдса лежит в пределах $500 < Re_{кр} < 1000$. При этом характерным размером является расстояние между пластинами.

Если ламинарное течение нарушается, значение $Re_{кр}$ будет меньше, чем указано выше. Это изменение не является резким, однако в области изменения всегда происходит переход.

Определение давления

В текущей среде можно выделить три вида давления: статическое, динамическое и полное.

Статическое давление — это давление среды в направлении, перпендикулярном направлению течения. При течении среды по трубам данное давление может быть измерено через небольшое отверстие в стенке трубы.

Полное давление — это давление среды на небольшую поверхность, расположенную перпендикулярно направлению течения, на которой скорость движения среды падает до нуля при отсутствии обтекания.

Динамическое давление — это разность между полным и статическим давлением.

Течение в трубах и воздуховодах

Упрощенное уравнение Бернулли

Предположим, что текущая среда является несжимаемой, силы трения отсутствуют и все части воздуховода расположены на одной высоте. В этом случае уравнение Бернулли применимо в его простейшем виде:

$$\frac{p_s}{\rho} + \frac{1}{2} \cdot v^2 = \text{const},$$

где

- $p_{\text{стат}}$ — статическое давление, Па;
- ρ — плотность воздуха, кг/м³;
- v — скорость движения воздуха, м/с.

Если обе части уравнения умножить на плотность, получим:

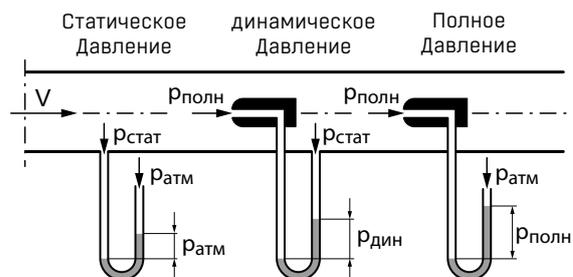
$$p_{\text{стат}} + \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = p_{\text{стат}} + p_{\text{дин}} = p_{\text{полн}} = \text{const},$$

где

- $p_{\text{стат}}$ — статическое давление, Па;
- ρ — плотность воздуха, кг/м³;
- v — скорость движения воздуха, м/с;
- $p_{\text{дин}}$ — динамическое давление, Па;
- $p_{\text{полн}}$ — полное давление, Па.

Уравнение Бернулли описывает обратную зависимость статического давления от скорости движения среды.

На рисунке показаны принципы измерения давления в воздуховоде. Предполагается, что статическое давление в воздуховоде превышает атмосферное.



Принципиальная схема измерения давления в воздуховоде

Снижение давления вследствие трения

Давление воздуха может снижаться вследствие его трения о стенки воздуховода. Для расчета снижения давления используется следующая формула:

$$\Delta p_\lambda = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2,$$

где

- Δp_λ — снижение давления вследствие трения;
- d — диаметр воздуховода, м;
- L — длина воздуховода, м;
- v — скорость движения воздуха, м/с;
- ρ — плотность воздуха, кг/м³;
- λ — коэффициент гидравлического трения, связанного с числом Рейнольдса и неровностью поверхности стенок воздуховода.

Для расчета коэффициента гидравлического трения λ используется следующая формула:

При ламинарном течении ($Re \leq 2320$):

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

При турбулентном течении ($Re \geq 2320$):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,14 - 2 \log \cdot \frac{k}{d}$$

где

- k — неровность поверхности стенки воздуховода, мм;
- d — диаметр воздуховода, м.

Снижение давления вследствие изменения формы воздуховода

Разовое снижение давления происходит, например, при внезапном изменении площади сечения воздуховода, при изгибе трубы и т.п.

Для расчета снижения давления используется следующая формула:

$$\Delta p_{\text{форм}} = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_2^2,$$

где

Δp_f — снижение давления вследствие изменения формы воздуховода;

ζ — коэффициент разового снижения давления;

ρ — плотность воздуха, кг/м³;

v — скорость движения воздуха, м/с;

Обобщенное уравнение Бернулли

Если необходимо учесть уменьшение давления, описанное в предыдущем разделе, а также разницу в высоте, на которой расположены различные части воздуховода, следует использовать обобщенное уравнение Бернулли:

$$p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \rho g h_2 + \Delta p_{\lambda},$$

где

p — статическое давление на высоте $h = 0$, Па;

ρ — плотность воздуха, кг/м³;

v — скорость движения воздуха, м/с;

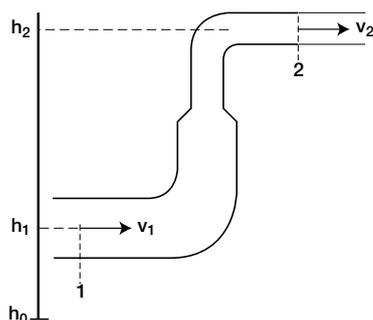
g — ускорение свободного падения, м/с²;

h — высота, м;

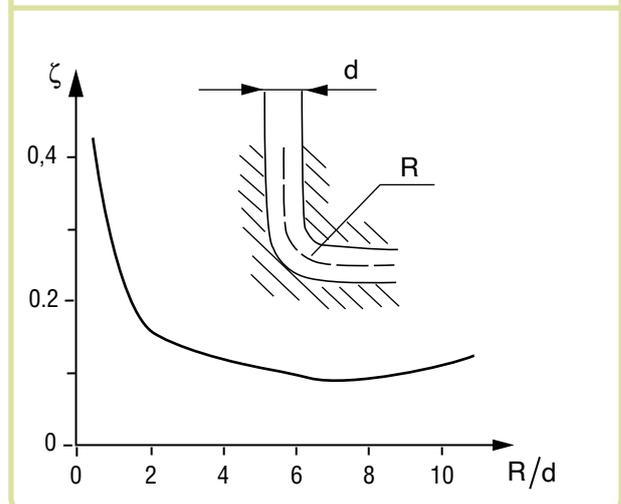
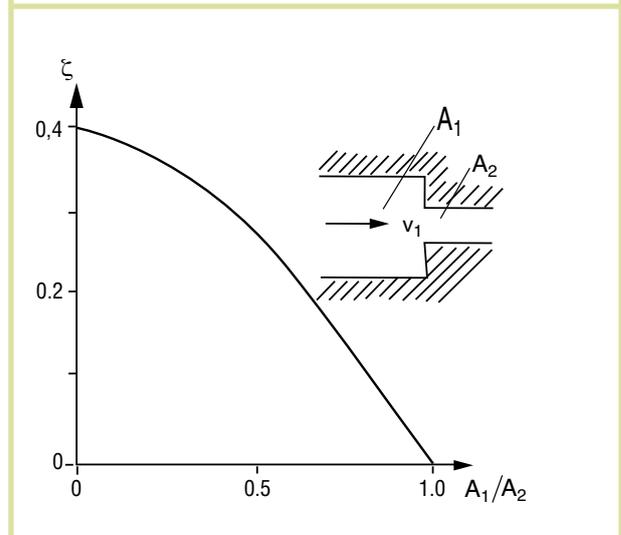
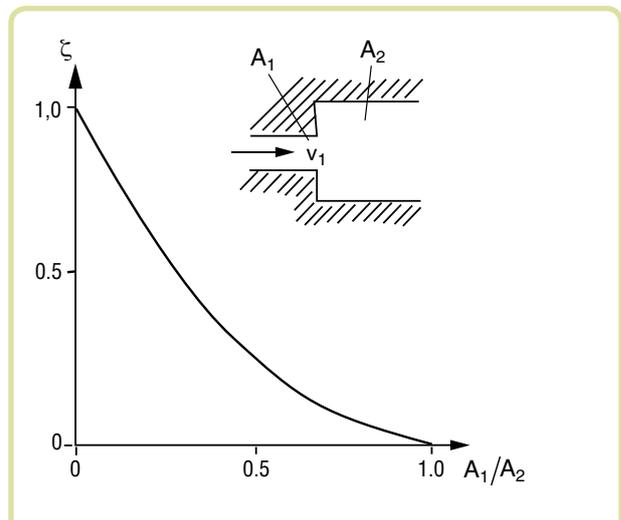
Δp_{λ} — потери давления, Па;

$\rho \cdot \frac{v^2}{2}$ — динамическое давление;

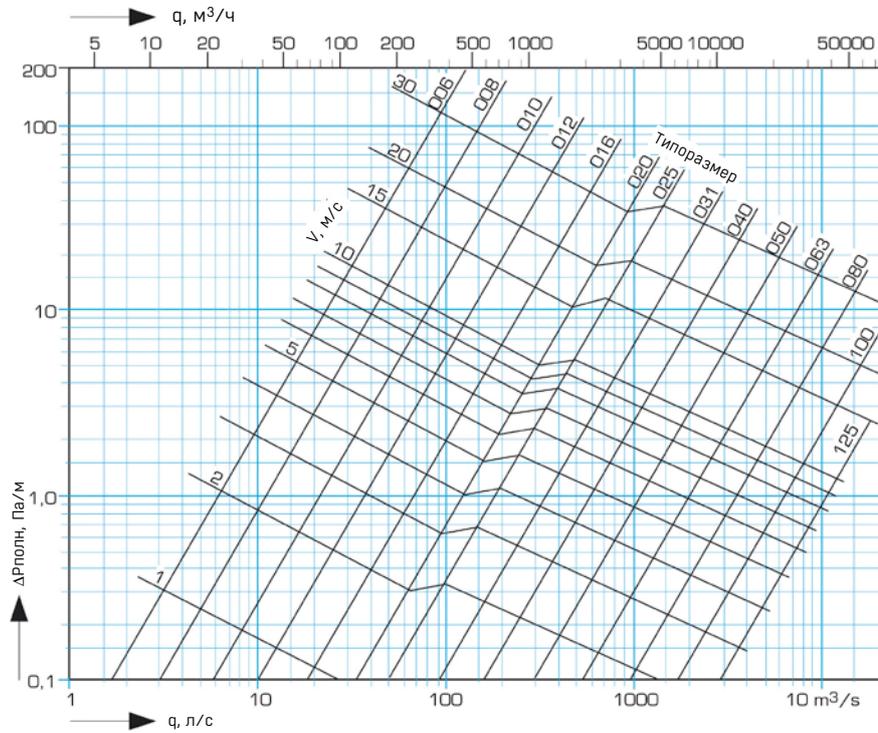
$\rho g h$ — давление за счет разности высот.



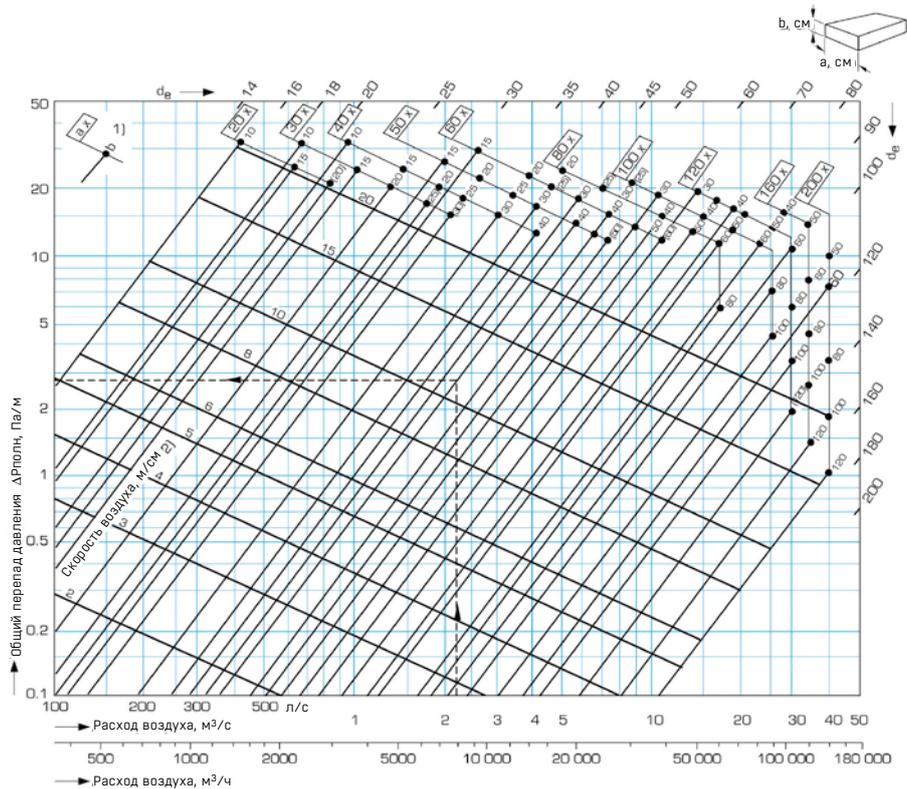
Ниже на графиках показаны значения коэффициента разового снижения давления ζ для ряда случаев.



Перепад давления в системе воздуховодов круглого сечения



Перепад давления в системе воздуховодов прямоугольного сечения





В потоке жидкости или газа действуют силы давления, инерции и трения.

При проектировании вентиляционных систем в большинстве случаев можно пренебречь силами инерции (за исключением случая лопастей вентилятора). Таким образом, поведение потока будет определяться силами давления и трения.

Гидрогазодинамика играет фундаментальную роль в целом ряде аспектов проектирования вентиляционных систем.

В частности, газодинамические расчеты производятся для потоков воздуха на вентиляторах, в воздуховодах, на фильтрах и в теплообменниках, а также для потоков воды в теплообменниках и трубах.

Существует два вида течения: ламинарное и турбулентное. Вид течения

может в значительной степени определять ход процессов нагрева и теплообмена.

Это касается как воздуха, так и воды. При ламинарном течении воды в трубе в виде теплообмен резко снижается, а течение становится затруднительным.

Закон подобия Рейнольдса позволяет определить, ламинарным или турбулентным является течение.

В текущей среде можно определить три вида давления: статическое, динамическое и полное.

Значения данных величин рассчитываются с помощью уравнения Бернулли.

Помимо этого, уравнение Бернулли описывает обратную зависимость статического давления от скорости движения среды.

5 Теплообмен



Краткое содержание главы

- Теплопроводность.
- Закон теплопроводности Фурье.
- Конвекция.
- Тепловое излучение.
- Классификация теплоизоляции вентиляционных установок.

Тепло — это форма энергии, передающейся только в одном направлении: от более теплого тела к более холодному.

Теория теплообмена играет важную роль в целом ряде аспектов проектирования вентиляционных систем. В частности, теплообменные расчеты производятся для теплообменников и систем утилизации теплоты, а также для процессов охлаждения и теплопередачи через стенки оборудования. Материал, из которого выполняются теплообменники, должен обладать высокой теплопроводностью, а также обеспечивать эффективный конвективный теплообмен между корпусом изделия и жидкостью или газом.

В других случаях необходима хорошая теплоизоляция, следовательно, теплопроводность и конвекция должны быть сведены к минимуму.

Существует три механизма передачи тепла: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение.

Теплопроводность

Теплопроводность — это процесс, в рамках которого обмен энергией осуществляется за счет движения электронов в металлах или, в случае жидкостей и газов в состоянии покоя, за счет движения молекул. Тепловой поток через единицу площади может быть выражен с помощью закона теплопроводности Фурье:

$$q = -\lambda \cdot \frac{dt}{dn}, \text{ Вт/м}^2$$

где

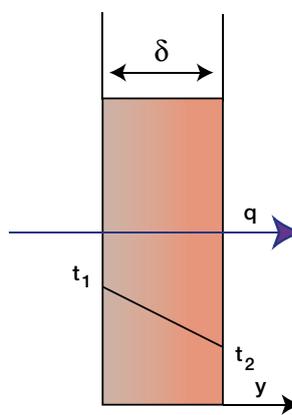
λ — коэффициент теплопроводности (удельная теплопроводность) материала;

$\frac{dt}{dn}$ — градиент температуры в направлении, перпендикулярном поверхности.

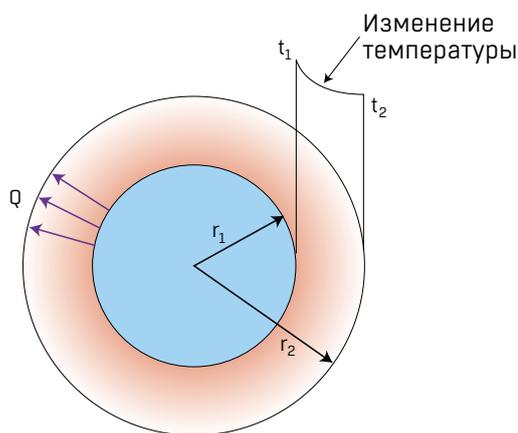
Минус в правой части уравнения показывает, что тепловой поток всегда направлен в сторону убывания температуры.

Для плоской стенки можно показать, что:

$$q = -\lambda \cdot \frac{dt}{dy} = -\lambda \cdot \frac{(t_2 - t_1)}{\delta} = \lambda \cdot \frac{(t_1 - t_2)}{\delta}, \text{ Вт/м}^2$$



Для трубы круглого сечения:



$$Q = -2\pi \cdot r \cdot \lambda \cdot \frac{dt}{dr}, \text{ Вт}$$

Если Q не зависит от r , после интегрирования мы получим тепловой поток на единицу длины:

$$Q = -2\pi \cdot \lambda \cdot \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \text{ Вт}$$

Конвекция

При конвективном теплообмене тело нагревается или охлаждается контактирующей с ним движущейся средой. В жидкости передача тепла происходит как за счет молекулярной теплопроводности, так и за счет макроскопических движений жидкости. На поверхности твердого тела скорость движения текучей среды равна нулю, поэтому передача тепла происходит только за счет теплопроводности.

Если среда приводится в движение с помощью внешних устройств, таких как вентиляторы, насосы и т.п., конвекция называется вынужденной. Если движение среды обусловлено изменениями ее плотности, возникающими вследствие разницы температур, конвекция называется естественной.

Классификация

Стандарт EN 1886 Европейского комитета по стандартизации вводит две классификации корпусов вентиляционных установок на основе их теплоизолирующих характеристик.

В зависимости от коэффициента теплопроводности U , Вт/м² SDgrC, корпусу присваивается класс от T1 до T5, а в зависимости от коэффициента изоляции K_b — класс от TB1 до TB5, отражающий степень защиты от образования конденсата.

Коэффициент теплопроводности U определяется путем измерения потери тепла в стационарном тепловом режиме при разнице температур внутри и снаружи вентиляционной установке, составляющей 20^{SDgrC}. Классификация по коэффициенту теплопроводности производится согласно следующей таблице:

Класс T1	$0 < U \leq 0,5$
Класс T2	$0,5 < U \leq 1,0$
Класс T3	$1,0 < U \leq 1,4$
Класс T4	$1,4 < U \leq 2,0$
Класс T5	Требования отсутствуют

Тепловое излучение

Для осуществления теплообмена с помощью теплового излучения не требуется какая бы то ни была среда. Такой теплообмен может происходить между поверхностями двух твердых тел, а также между поверхностью твердого тела и газом. Также возможно взаимодействие между несколькими поверхностями и газами.

Если температура близка к комнатной, теплообмен с помощью теплового излучения практически всегда пренебрежимо мал в сравнении с конвекционным теплообменом.

Классификация, основанная на коэффициенте изоляции K_b , отражает устойчивость секций корпуса к образованию конденсата. Это безразмерная величина, рассчитываемая по формуле:

$$K_b = \frac{(t_{\text{поверхн}} - t_{\text{внутр}})}{(t_{\text{наруж}} - t_{\text{внутр}})}$$

где

K_b — коэффициент изоляции;

$t_{\text{внутр}}$ — температура воздуха внутри вентиляционной установки;

$t_{\text{наруж}}$ — температура снаружи вентиляционной установки;

$t_{\text{поверхн}}$ — наименьшая температура поверхности секций установки.

Классификация по коэффициенту теплопроводности производится согласно следующей таблице:

Класс TB1	$0,75 < K_b \leq 1,00$
Класс TB2	$0,60 < K_b \leq 0,75$
Класс TB3	$0,45 < K_b \leq 0,60$
Класс TB4	$0,30 < K_b \leq 0,45$
Класс TB5	Требования отсутствуют

Секция корпуса с наименьшим коэффициентом теплоизоляции определяет класс изоляции всей вентиляционной установки.



Тепло — это форма энергии, передающейся только в одном направлении: от более теплого тела к более холодному.

Существует три механизма передачи тепла:

• Теплопроводность.

Теплопроводность — это процесс, в рамках которого обмен энергией осуществляется за счет движения электронов в металлах или, в случае жидкостей и газов в состоянии покоя, за счет движения молекул.

• Конвекция.

При конвективном теплообмене тело нагревается или охлаждается контактирующей с ним движущейся средой — жидкостью или газом.

• Тепловое излучение.

Для осуществления теплообмена с помощью теплового излучения не требуется какая бы то ни было среда. Такой теплообмен может происходить между поверхностями двух твердых тел, а также между поверхностью твердого тела и газом. Также возможно взаимодействие между несколькими поверхностями и газами.

Классификация

Имеются две классификации вентиляционных установок на основе их теплоизолирующих характеристик — по потере тепла через корпус и по защищенности корпуса от образования конденсата.

Эти классификации вводятся стандартом Европейского комитета по стандартизации. В рамках первой классификации корпус получает класс от T1 до T5, а в рамках второй — от TB1 до TB5.

6 Охлаждение



Краткое содержание главы

- Введение.
- Контур охлаждения.
- Мощность охлаждения.
- Энергопотребление.
- КПД охлаждения.
- КПД обогрева.



Охладитель

Чтобы понять, как протекают процессы охлаждения, необходимо иметь представления о том, как текучие среды реагируют на различные изменения давления и температуры. Рассмотрим эти вопросы на примере воды. Используемые в вентиляционных установках хладагенты ведут себя аналогично.

Если к воде подводить тепло, она будет нагреваться. Однако если температура воды, к которой подводится тепло, достигнет 100°C , вода начнет испаряться и в конце концов полностью превратится в пар. Теплота, необходимая для превращения воды с температурой 100°C в пар той же температуры, называется теплотой испарения (парообразования).

В случае обратного фазового перехода, т.е. превращения пара в воду, выделяется эквивалентное количество теплоты.

Температура кипения воды зависит от давления. Например, на высоте 3000 метров над уровнем моря вода кипит при температуре немного ниже 90°C , т.к. при наборе высоты атмосферное давление падает. Напротив, при росте давления температура кипения повышается. В скороварке вода кипит приблизительно при 110°C , т.к. давление в ней примерно на 50% выше атмосферного.



Чиллер

В процессе охлаждения используются изменения давления, позволяющие сместить температуры испарения и конденсации. В результате происходит либо непосредственное охлаждение воздуха, либо охлаждение воды, которая затем используется для охлаждения воздуха.

Охлаждение

Процесс охлаждения состоит из четырех основных этапов. Эти этапы повторяются циклично.

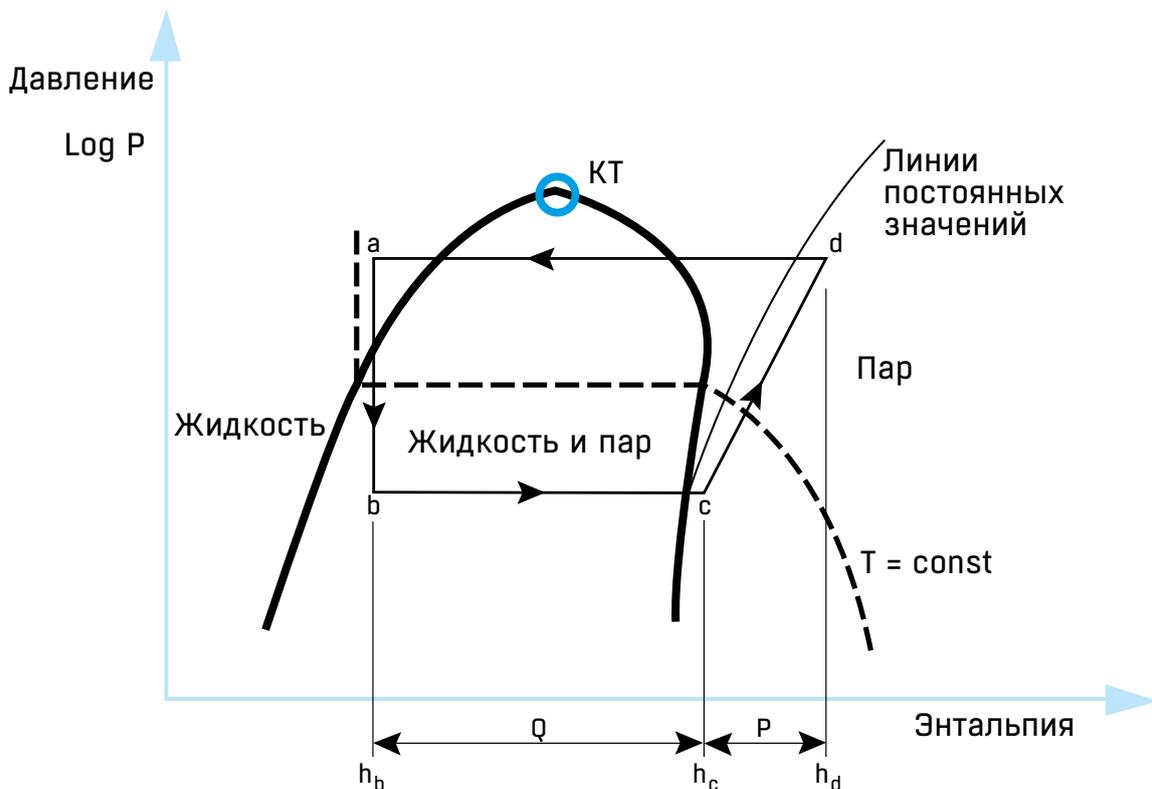
1. Благодаря низкому давлению в испарителе хладагент кипит при низкой температуре и испаряется. При этом используется теплота приточного воздуха, который таким образом охлаждается.
2. Газообразный хладагент поступает в компрессор, где сжимается до высокого давления. В результате возрастает его температура.
3. Газообразный хладагент поступает в конденсатор. При этом его давление столь высоко, что он полностью конденсируется несмотря на высокую температуру. Тепло конденсации отводится потоком удаляемого воздуха.
4. Давление на расширительном клапане падает, и это приводит к снижению температуры жидкого хладагента.

На приведенном ниже графике можно выделить три области, отделенные друг от друга жирной линией насыщения.

Область слева от линии насыщения соответствует жидкости; область, ограниченная линией насыщения — смеси жидкости и газа; область справа от линии насыщения — газу. Фазовые переходы (испарение и конденсация) происходят при постоянной температуре и располагаются на линии насыщения.

Кривая постоянной температуры показана пунктиром. Ее вертикальная часть находится в области жидкости, горизонтальная — в области смеси жидкости и газа, а изогнутая — в области газа.

Также показаны линии постоянной энтропии, соответствующие идеальному сжатию газовой фазы. Реальное сжатие не в полной мере соответствует данным линиям ввиду потерь (см. график). Сокращение КТ обозначает критическую точку.



Мощность охлаждения

Мощность охлаждения рассчитывается как изменение энтальпии в испарителе, умноженное на массовый расход хладагента.

$$Q = m \cdot (h_c - h_b),$$

где

Q — мощность охлаждения, кВт;

m — массовый расход хладагента, кг/с;

$h_c - h_b$ — изменение энтальпии между точками b и c, см. график на предыдущей странице.

Энергопотребление

Функционирование контура охлаждения обеспечивается за счет работы компрессора. Энергопотребление рассчитывается как изменение энтальпии в компрессоре, умноженное на массовый расход хладагента.

$$P = m \cdot (h_d - h_c),$$

где

P — энергопотребление, кВт;

m — массовый расход хладагента, кг/с;

$h_d - h_c$ — изменение энтальпии между точками c и d, см. график на предыдущей странице.

КПД охлаждения

КПД охлаждения COP_2 рассчитывается как количество теплоты, поступившей в испаритель, разделенное на работу, выполненную компрессором.

$$COP_2 = \frac{Q}{P} = \frac{m \cdot (h_c - h_b)}{m \cdot (h_d - h_c)},$$

где

COP_2 — КПД охлаждения;

Q — мощность охлаждения, кВт;

P — энергопотребление, кВт.

Отсюда видно, что КПД является характеристикой конструкции модуля охлаждения и не зависит от массового расхода хладагента:

$$COP_2 = \frac{(h_c - h_b)}{(h_d - h_c)},$$

КПД обогрева

КПД обогрева COP_1 рассчитывается как количество теплоты, отводимое в конденсаторе, разделенное на работу, выполненную компрессором.

$$COP_1 = \frac{(h_d - h_a)}{(h_d - h_c)},$$

Ввиду того, что $(h_d - h_a) = (h_c - h_b) + (h_d - h_c)$, получаем: $COP_1 = COP_2 + 1$



Чтобы понять, как протекают процессы охлаждения, необходимо иметь представления о том, как текучие среды реагируют на различные изменения давления и температуры. Рассмотрим эти вопросы на примере воды. Используемые в вентиляционных установках хладагенты ведут себя аналогично.

Если к воде подводить тепло, она будет нагреваться. Однако если температура воды, к которой подводится тепло, достигнет 100°C, вода начнет испаряться и в конце концов полностью превратится в пар. Теплота, необходимая для превращения воды с температурой 100°C в пар той же температуры, называется теплотой испарения.

В случае обратного фазового перехода, т.е. превращения пара в воду, выделяется эквивалентное количество теплоты. Также необходимо помнить, что температура кипения воды зависит от давления. Например, на высоте 3000 метров над уровнем моря вода кипит при температуре немного ниже 90°C, т.к. при наборе высоты атмосферное давление падает. Напротив, при росте давления температура кипения повышается. В скороварке вода кипит приблизительно при 110°C, т.к. давление в ней примерно на 50 % выше атмосферного.

В процессе охлаждения используются изменения давления, позволяющие сместить температуры испарения и конденсации.

В результате происходит либо непосредственное охлаждение воздуха, либо охлаждение воды, которая затем используется для охлаждения воздуха.

Процесс охлаждения состоит из четырех основных этапов. Эти этапы повторяются циклично.

1. Благодаря низкому давлению в испарителе хладагент кипит при низкой температуре и испаряется. При этом используется теплота приточного воздуха, который таким образом охлаждается.
2. Газообразный хладагент поступает в компрессор, где сжимается до высокого давления. В результате возрастает его температура.
3. Газообразный хладагент поступает в конденсатор. При этом его давление столь высоко, что он полностью конденсируется несмотря на высокую температуру. Тепло конденсации отводится потоком удаляемого воздуха.
4. Давление на расширительном клапане падает, и это приводит к снижению температуры жидкого хладагента.

Данный цикл отображается на графике в координатах $h - \log P$, где h — энтальпия (количество энергии, содержащейся в хладагенте), P — давление хладагента.



Утилизация энергии обогрева и охлаждения



Краткое содержание главы

- Временной график.
Временной график
- Энергоэффективность.

Утилизация теплоты в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха является чрезвычайно рентабельной. В холодном климате срок окупаемости необходимого для этого оборудования может составить всего один год. В жарком климате срок окупаемости также может оказаться очень коротким благодаря возможности использования модуля охлаждения меньшего размера, требующего меньших начальных вложений и потребляющего меньшее количество энергии.

Размер экономии зависит главным образом от климата, количества рабочих часов и энергоэффективности выбранной системы утилизации энергии.

Помимо обеспечения высокой рентабельности, утилизация энергии обогрева и охлаждения также позволяет снизить нагрузку на окружающую среду. В частности, ее использование позволяет уменьшить объем сжигаемого топлива и таким образом сократить выбросы углекислого газа.

Еще одним преимуществом является более высокая кратность воздухообмена при низком энергопотреблении, что позволяет улучшить качество воздуха в здании.

Интенсивность теплообмена зависит от разницы температур, поэтому чем более холодным является наружный воздух, тем большее количество теплоты может быть утилизировано из удаляемого воздуха. Аналогично чем теплее наружный воздух, тем большее количество энергии охлаждения можно извлечь. Исключением являются очень низкие температуры наружного воздуха, при которых влага удаляемого воздуха может замерзнуть в теплообменнике. В этом случае теплообменник должен быть отрегулирован с целью уменьшения теплообмена или периодически переключаться на цикл оттаивания.

На рынке представлены различные системы утилизации теплоты, каждая из которых обладает своими преимуществами и недостатками. Выбор системы должен осуществляться исходя из предполагаемой сферы ее применения.

Временной график

Расчет экономического эффекта от утилизации теплоты должен выполняться для полного года эксплуатации системы, а не только для периода максимальной нагрузки.

На рисунке справа представлен временной график зависимости температуры, °С, от времени, ч. График отображает усредненные температурные показатели для Стокгольма. Различные области на графике обозначают количество градусо-часов (градусов, умноженных на часы). Данные значения, умноженные на расход воздуха q , плотность воздуха и удельную теплоемкость воздуха c_p дают потребность в обогреве или охлаждении — тепловую нагрузку.

Нижняя область между линией температуры наружного воздуха и температуры приточного воздуха показывает годовую тепловую нагрузку по обогреву $Q_{\text{полн}}$ без теплообменника и при непрерывной работе.

$$Q_{\text{полн}} = q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \text{количество градусо-часов,}$$

где

$Q_{\text{полн}}$ — годовая тепловая нагрузка по обогреву, кВт·ч/год, без теплообменника;

q — расход воздуха, м³/с;

ρ — плотность воздуха, кг/м³;

c_p — удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг·°С.

Потребность в дополнительном тепле $Q_{\text{дополн}}$ соответствует малому треугольнику в верхней левой части графика.

$$Q_{\text{дополн}} = \left(1 - \frac{\eta_{\text{среднегод}}}{100}\right) \cdot Q_{\text{полн}}$$

где

$Q_{\text{дополн}}$ — годовая тепловая нагрузка по обогреву, кВт·ч/год, с теплообменником;

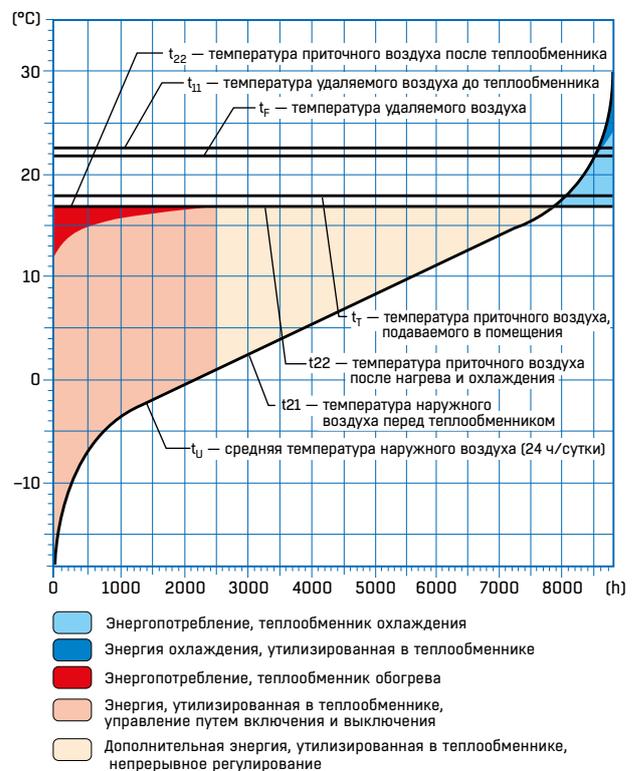
$\eta_{\text{среднегод}}$ — среднегодовая энергоэффективность (КПД) теплообменника, %;

$Q_{\text{полн}}$ — годовая тепловая нагрузка по обогреву, кВт·ч/год, без теплообменника.

Средняя энергоэффективность будет превышать указанное производителем значение, если температура удаляемого воздуха обычно превышает требуемую температуру приточного воздуха. При использовании энергоэффективного теплообменника среднегодовая энергоэффективность может достигать 85-95%.

Если система работает не непрерывно, то тепловую нагрузку обычно можно с достаточной точностью считать пропорциональной времени работы. Для увеличения точности необходимо учесть, что дневные и ночные кривые несколько отличаются от усредненной кривой.

При проведении расчетов на основе графиков, подобных приведенному ниже, необходимо также помнить, что при этом не учитывается так называемая скрытая энергия, обусловленная присутствием влаги в воздухе.



Определения

На рисунке ниже показан принцип утилизации теплоты на примере роторного теплообменника. Удаляемый воздух проходит через теплообменник, после чего выбрасывается в атмосферу. Приточный воздух нагревается за счет тепла удаляемого воздуха, после чего подается в помещение.



Эффективность теплообмена

$$\eta_t = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}} \cdot 100$$

Эффективность влагообмена

$$\eta_x = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}} \cdot 100$$

Обозначения

q — расход воздуха, м³/с;

t — температура, °С;

φ — относительная влажность воздуха, %;

η_t — эффективность теплообмена, %;

η_x — эффективность влагообмена, %;

X — содержание влаги, кг/кг.

Подстрочные индексы

1 — сторона удаляемого воздуха;

2 — сторона приточного воздуха;

11 — удаляемый воздух, впуск;

12 — удаляемый воздух, выпуск;

21 — приточный воздух, впуск;

22 — приточный воздух, выпуск.

Эффективность

Энергоэффективность — это мера продуктивности теплообменника. Данная величина выражается в процентах от теоретически возможной утилизации теплоты и влаги, т.е. утилизации, при которой приточный воздух имеет ту же температуру и то же содержание влаги, что и удаляемый. Теоретически возможная утилизация соответствует эффективности 100%.

Эффективность теплообмена отражает изменение температуры в теплообменнике (утилизацию явной энергии), а эффективность влагообмена — изменение содержания влаги (утилизацию латентной энергии).

Оба данных коэффициента являются безразмерными.

Это означает, что даже если два коэффициента были измерены в разных условиях (в условиях утилизации энергии обогрева и охлаждения соответственно), при сильно различающихся температурах наружного воздуха, они могут использоваться в любых расчетах температуры приточного воздуха.

Чем выше расход воздуха в теплообменнике, тем ниже его эффективность. Помимо этого, эффективность падает при увеличении отношения расходов приточного и удаляемого воздуха.

Ниже перечислены основные параметры, определяющие эффективность теплообменника:

- Геометрия потоков внутри теплообменника: параллельные, встречные или перекрестные потоки.
- Число единиц переноса тепла NTU.
- Тип теплообмена: непосредственно между воздушными потоками или через жидкость.

Из графика видно, что эффективность теплообменника увеличивается с ростом числа единиц переноса тепла NTU.

Согласно приведенной ниже формуле, увеличение числа единиц переноса тепла может быть достигнуто путем увеличения коэффициента поверхностной теплопередачи и площади поверхности теплопередачи F , а также путем уменьшения C_{\min} . Для увеличения площади поверхности теплопередачи F необходимо увеличить количество листов фольги в теплообменнике. Однако это приведет к увеличению перепада давления. Коэффициент поверхностной теплопередачи возрастает, если поток воздуха становится турбулентным. Однако в теплообменнике достичь этого чрезвычайно сложно.

Из формулы для расчета C_{\min} видно, что эффективность теплообменника также возрастает при снижении скорости движения воздуха в теплообменнике.

Число единиц переноса тепла рассчитывается по формуле:

$$N_{TU} = \frac{\alpha \cdot F}{C_{\min}}$$

$$C_{\min} = q_{\min} \cdot \rho \cdot c_p,$$

где

N_{TU} — число единиц переноса тепла;

α — коэффициент поверхностной теплопередачи, Вт/м², °С;

F — площадь поверхности теплопередачи, м²;

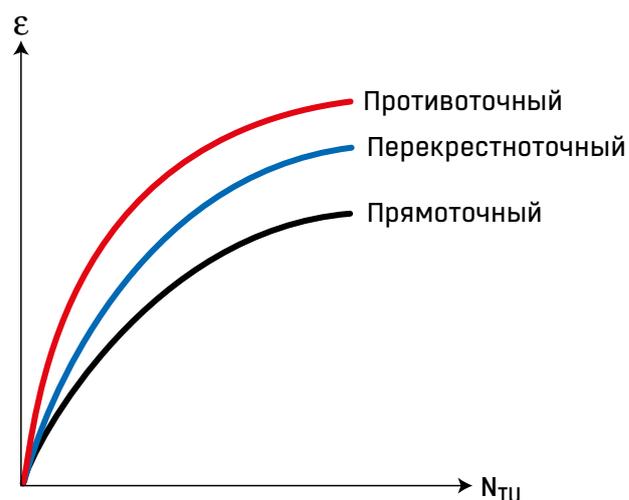
ρ — плотность воздуха, кг/м³;

q_{\min} — наименьший расход, м³/с;

c_p — удельная теплоемкость.

Противоточные теплообменники отличаются более высокой эффективностью по сравнению с перекрестноточными и прямоточными.

На рисунке ниже показана зависимость эффективности теплообменника от числа единиц переноса тепла NTU.



Зависимость эффективности теплообменника от числа единиц переноса тепла

Резюме



Утилизация энергии обогрева и охлаждения позволяет сэкономить финансовые ресурсы и снизить нагрузку на окружающую среду.

Временной график

Временной график показывает усредненную температуру вне помещения в выбранной местности в течение года. Исходя из графика может быть рассчитана средняя годовая тепловая нагрузка $Q_{полн}$ без теплообменника в условиях непрерывной работы, а также аналогичная нагрузка при наличии эффективного теплообменника $Q_{дополн}$.

Эффективность

Эффективность (КПД) — это доля израсходованной энергии в процентах, затраченная на выполнение полезного действия.

Эффективность теплообменника зависит главным образом от следующих параметров:

- Геометрия потоков внутри теплообменника:
 - параллельные, встречные или перекрестные потоки.
- Число единиц переноса тепла NTU.
- Тип теплообмена: непосредственно между воздушными потоками или через жидкость.

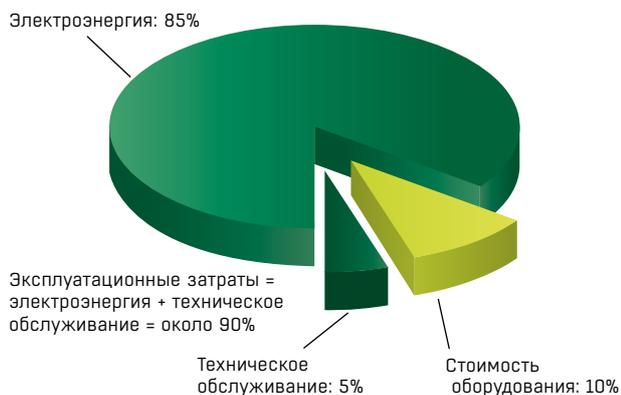
8 Расчеты затрат на срок службы и энергопотребления



Краткое содержание главы

- Энергоэффективность является важнейшим параметром оборудования.
- Затраты на срок службы.
- Затраты на электроэнергию на срок службы.
- Затраты на электроэнергию и выбросы углекислого газа.
- Снижение затрат на электроэнергию.
- Параметры для расчетов энергопотребления и стоимости энергии на срок службы.

Согласно исследованиям, стоимость эксплуатации вентиляционной установки в течение срока ее службы превышает стоимость ее приобретения. В ряде случаев эксплуатационные затраты могут достигать 90% от суммарных затрат на срок службы установки в течение 20 лет. При этом стоимость самой установки составляет лишь 10% от этих затрат. По мере роста стоимости энергии все большее значение приобретают суммарные затраты на срок службы, тогда как стоимость самой установки становится менее значима. Экологические проблемы современности, в частности, глобальное потепление, разрушение озонового слоя, увеличение площади пустынь и необходимость соблюдения Киотского протокола, делают увеличение энергоэффективности одной из глобальных задач человечества. Поэтому столь важным является расчет затрат на срок службы для всех единиц оборудования, потребляющих энергию. И, в частности, для вентиляционных установок. Затраты на срок службы — это сумма всех затрат, связанных с изделием на протяжении его срока службы. Затраты на срок службы рассчитываются методом текущей стоимости. Это значит, что все будущие затраты учитываются в сегодняшних ценах.



Затраты на срок службы для вентиляционной установки

Таким образом, затраты на срок службы складываются из стоимости оборудования, а также затрат на электроэнергию, техническое обслуживание и экологические сборы за весь срок службы в сегодняшних ценах.

Затраты на срок службы = стоимость оборудования + затраты на электроэнергию на срок службы + затраты на техническое обслуживание на срок службы + затраты на экологические отчисления на срок службы – доход от утилизации

Затраты на электроэнергию на срок службы

Самой значительной частью затрат, связанных с вентиляционной установкой, являются затраты на электроэнергию. Заказчики вентиляционных систем все чаще выдвигают поставщикам требования, касающиеся заранее установленных затрат на электроэнергию на срок службы. И поставщики сталкиваются с необходимостью удовлетворять эти требования. В связи с этим компания Fläkt Woods доработала соответствующий модуль в своей программе выбора продукции. Данный модуль позволяет сравнить и оптимизировать различные функции и решения в рамках вентиляционной установки с целью максимального снижения указанных затрат.

Затраты на электроэнергию и выбросы углекислого газа

Затраты на электроэнергию для вентиляционной установки складываются из двух частей. Первая часть — это электроэнергия, потребляемая вентиляторами и электродвигателями, а вторая — электроэнергия, превращаемая в тепловую энергию. В свою очередь, вторая часть делится на электроэнергию для обогрева и электроэнергию для охлаждения. В Северной Европе большая часть суммарной потребляемой энергии расходуется на обогрев. Затраты на обогрев могут быть существенно снижены за счет использования теплообменника. В будущем предполагается рост затрат на охлаждение. В Центральное и Южную Европу охлаждение уже сейчас составляет значительную часть общего энергопотребления. В связи с данной тенденцией возрастает важность утилизации холода. В ряде случаев заказчики также желают знать, какой объем выбросов углекислого газа соответствует потребляемой установкой энергии. Такой расчет может быть выполнен исходя из количества углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу при производстве одного киловатта электроэнергии, в дальнейшем используемой для обогрева, охлаждения и питания электродвигателей.



Снижение затрат на электроэнергию

Для получения достоверного значения затрат на электроэнергию чрезвычайно важно использовать точные исходные данные.

Конечный результат расчета будет в значительной мере зависеть от учета перечисленных ниже соображений:

- Наиболее дешевые и малогабаритные вентиляционные установки, как правило, не являются оптимальными с точки зрения затрат на электроэнергию на срок службы. Исследования показывают, что более крупногабаритные установки часто демонстрируют чрезвычайно быструю окупаемость. В подобных установках перепад давления незначителен и утилизация энергии производится более эффективно.
- Вентиляционная система должна быть оптимизирована с целью обеспечения ее максимальной экономичности. Чем меньше перепад давления в системе воздуховодов, тем меньшее количество электроэнергии потребляется вентиляторами.
- В процессе проектирования вентиляционной системы важнейшую роль играет правильный выбор вентиляторов и их приводов. Вентиляторы должны обеспечивать надлежащие расход и давление, соответствующие решаемым задачам.
- Столь же важным является выбор оптимального теплообменника: надлежащего типа, соответствующего исходным данным проектирования и имеющим оптимальную эффективность утилизации теплоты. Максимальная эффективность утилизации теплоты не всегда является лучшим решением, т.к. большие теплообменники увеличивают потери давления в установке. Это, в свою очередь, приводит к увеличению потребления электроэнергии вентиляторами.
- Все большую важность приобретает выбор теплообменника, характеризующегося также оптимальной утилизацией холода.
- По возможности следует использовать вентиляционную систему с переменным расходом воздуха, обеспечивающую вентиляцию здания в соответствии с текущими потребностями.
- Вентиляционная установка должна использоваться по прямому назначению. Например, в офисных зданиях вентиляционные установки должны обеспечивать вентиляцию помещений и, в ряде случаев, охлаждение воздуха, но не обогрев. Последняя задача решается с помощью батарей центрального отопления.
- Использование вентиляционных установок с наименьшими возможными габаритными размерами далеко не всегда является экономически оправданным.

Принципы расчета энергопотребления и затрат на электроэнергию на срок службы

Для увеличения точности расчетов, связанных с энергопотреблением, необходимо руководствоваться перечисленными ниже принципами:

- Расчеты теплообмена воздухонагревателей, воздухоохладителей и теплообменников основываются на параметрах поступающего в них воздуха. Поэтому данные параметры (температура, энтальпия, скорость и давление) должны быть рассчитаны для каждой точки вентиляционной установки.
- Расчет производительности по охлаждению для охлаждающего теплообменника является весьма сложным. Для получения достаточно точного результата необходимо принять во внимание образование капель конденсата. Данное явление приводит к увеличению перепада давления в теплообменнике. При этом необходимо рассчитать энергию адиабатического охлаждения.
- Если утилизация теплоты осуществляется с помощью роторного теплообменника, в расчете должны быть учтены расход утечек и уравнивающее давление. Дополнительное давление и дополнительный расход воздуха влияют на работу вытяжного вентилятора.
- Перепад давления на фильтрах должен рассчитываться как среднее значение от первоначального и конечного перепада давления.
- В расчете должны быть учтены все элементы оборудования, потребляющие электроэнергию, включая электродвигатели насосов и иные приводные электродвигатели, являющиеся частью вентиляционной установки.

Расчет температуры

В расчетах температур должны фигурировать температуры проточного и удаляемого воздуха для теплого и холодного времени года. Температуры представляются как линейные зависимости на временном графике для определенного периода времени. На вентиляторах происходит дополнительное увеличение температуры. Данное увеличение должно быть рассчитано для каждой конкретной вентиляционной установки. От него зависят тепловая и холодильная нагрузка. Помимо этого, для получения точных значений температуры и влажности в расчетах должны фигурировать уставки температуры и влажности.

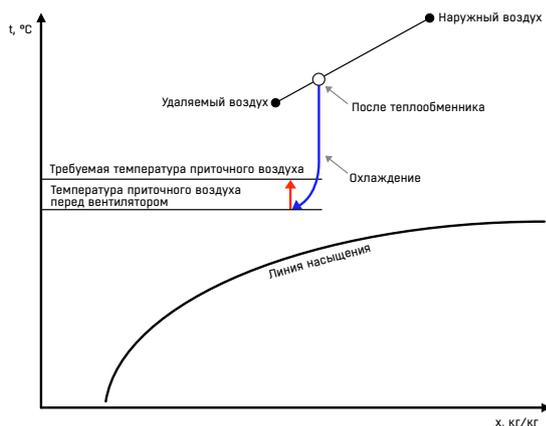
Расчет производительности по охлаждению может быть выполнен двумя способами:

1. Расчет с получением точной температуры.
2. Расчет с получением точной температуры и точного содержания влаги в воздухе.

Если необходимо обеспечить точное соответствие

температуры и относительной влажности воздуха требуемым значениям, в состав вентиляционной установки должны входить воздухонагреватель, охладитель и нагреватель для повторного нагрева. Функционирование данной конфигурации сопряжено с потреблением значительного количества электроэнергии, поэтому в данном случае особую важность приобретает точность расчетов.

На первом графике показано охлаждение до требуемой температуры. На втором графике показано охлаждение воздуха до требуемого содержания влаги с последующим нагревом до требуемой температуры и относительной влажности.



Расчет эффекта охлаждения для получения надлежащей температуры



Расчет эффекта охлаждения для получения надлежащей температуры и влажности

Компенсация температуры наружного воздуха

В большинстве случаев, когда в состав вентиляционной установки входит воздухоохладитель, температура приточного воздуха изменяется в течение года в зависимости от нагрузки. Для получения более точного значения энергетической нагрузки в этих случаях рекомендуется добавить в расчет компенсацию температуры наружного воздуха.

С помощью функции компенсации температуры наружного воздуха температура приточного воздуха рассчитывается как функция температуры наружного воздуха. Состояние приточного воздуха указывается как фактическая температура для различных значений температуры наружного воздуха. Между этими точками температура линейно зависит от времени.

Температура удаляемого воздуха указывается как температура в теплое время года и температура в холодное время года. Между ними температура линейно зависит от времени. Ниже показаны примеры подобных графиков с компенсацией и без нее.

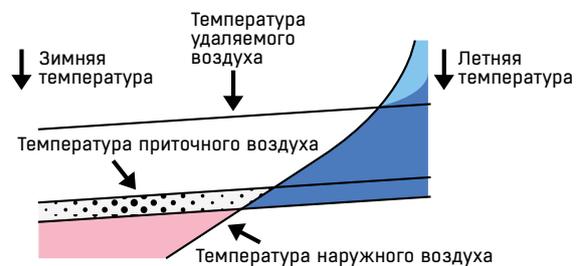


График без компенсации температуры наружного воздуха

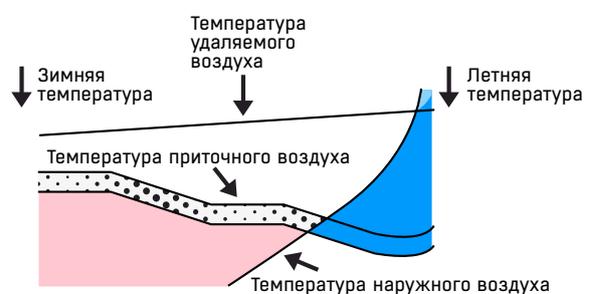


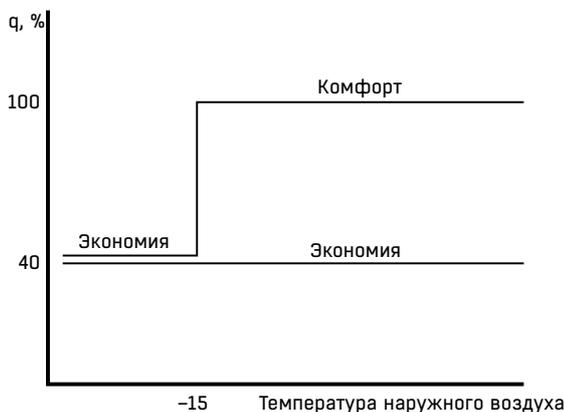
График с компенсацией температуры наружного воздуха

Продолжительность работы

Энергопотребление установки в значительной степени зависит от продолжительности ее работы. Например, непрерывной работе вентиляционной установки соответствуют приблизительно 8 760 часов работы в год. Однако в реальности вентиляционная установка, предназначенная для вентиляции офисных помещений, работает от 3 000 до 4 000 часов в год.

Таким образом, в рамках расчетов энергопотребления целесообразно различать два режима работы установки: дневной и ночной. Каждый из этих режимов может иметь собственные уставки расхода и температуры воздуха. Ночная температура несколько ниже дневной, что отображается на временном графике в виде ступеньки.

Дневной и ночной режимы работы



Временной график, дневной и ночной режим работы

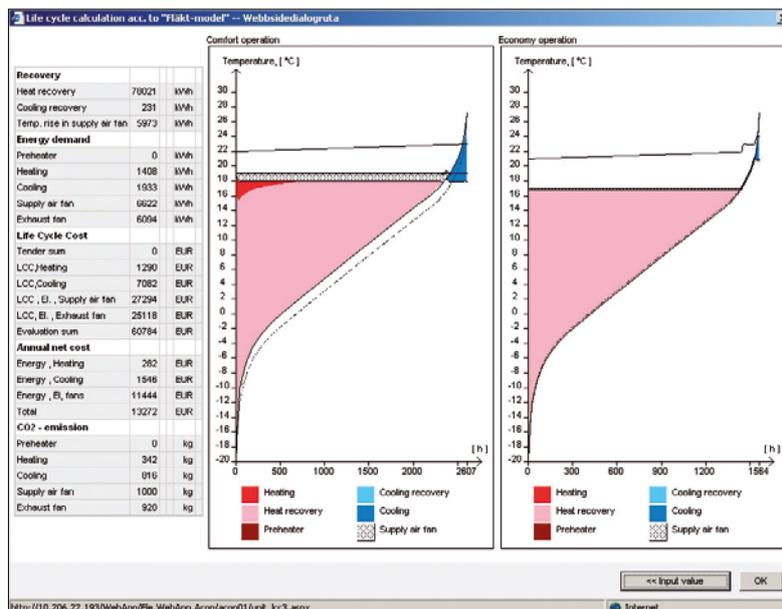
Вентиляционная система с переменным расходом воздуха

При расчете энергопотребления вентиляционной установки, давление в которой регулируется для обеспечения работы вентиляционной системы с переменным расходом воздуха, необходимо указать минимальное и максимальное значение расхода воздуха для каждого значения температуры наружного воздуха. Если температура падает ниже минимального установленного значения или поднимается выше максимального установленного значения, расход воздуха считается постоянным. Линия, соединяющая две температуры на графике, является прямой.

Временной график

Энергопотребление может быть отображено на временном графике. Примеры подобных графиков представлены ниже.

На графике показаны температуры приточного и удаляемого воздуха для некой вентиляционной установки на протяжении года. На графике можно видеть количество утилизированной энергии (розовая область), количество дополнительного тепла (красная область) и количество дополнительного тепла от электродвигателя вентилятора (область с точками) в течение отопительного периода. Также на графике видны количество утилизированной энергии охлаждения (голубая область), количество необходимой энергии охлаждения (синяя область) и количество дополнительного тепла от электродвигателя вентилятора (область с точками) в течение периода кондиционирования воздуха. Помимо этого, показан повторный нагрев для охлаждения для требуемой температуры и требуемого содержания влаги в воздухе. Следует помнить, что на графике отображены только явные энергии нагрева и охлаждения.



Временной график в программе выбора продукции ACON компании Fläkt Woods.



Затраты на срок службы — это сумма всех затрат, связанных с изделием на протяжении его срока службы. До 90% от всех затрат на срок службы вентиляционной установки составляют затраты на электроэнергию. Важнейшим фактором, определяющим общую экономичность вентиляционной системы, является энергоэффективность ее компонентов. Поэтому столь важным является расчет затрат на электроэнергию на срок службы вентиляционной установки. Помимо этого, исходя из количества потребляемой установкой электроэнергии, можно рассчитать соответствующий объем выбросов углекислого газа.

Для увеличения точности расчетов, связанных с энергопотреблением, необходимо руководствоваться перечисленными ниже принципами:

- Параметры воздуха (температура, энтальпия, скорость и давление) должны быть рассчитаны для каждой точки вентиляционной установки.
- Расчет производительности по охлаждению для охлаждающего теплообменника является весьма сложным. Для получения достаточно точного результата необходимо принять во внимание образование капель конденсата.
- Если утилизация теплоты осуществляется с помощью роторного теплообменника, в расчете должны быть учтены расход утечек и уравнивающее давление.
- Перепад давления на фильтрах должен рассчитываться как среднее значение от первоначального и конечного перепада давления.
- В расчете должны быть учтены все элементы оборудования, потребляющие электроэнергию, включая

электродвигатели насосов и иные приводные электродвигатели, являющиеся частью вентиляционной установки.

- В расчетах температур должны фигурировать температуры проточного и удаляемого воздуха для теплого и холодного времени года.

Расчет производительности по охлаждению может быть выполнен двумя способами:

- Расчет с получением точной температуры.
- Расчет с получением точной температуры и точного содержания влаги в воздухе.

При расчете затрат на электроэнергию чрезвычайно важным для получения достоверных результатов является использование точных значений требуемых параметров.

На результаты расчетов в значительной степени влияют перечисленные ниже факторы:

- Наиболее дешевые и малогабаритные вентиляционные установки, как правило, не являются оптимальными с точки зрения затрат на электроэнергию на срок службы.
- Оптимизация вентиляционных систем с целью обеспечения их максимальной экономичности.
- Правильный выбор вентиляторов.
- Оптимизированные теплообменники.
- Выбор теплообменников, характеризующихся также оптимальной утилизацией энергии охлаждения.
- Подача воздуха по мере необходимости.
- Использование вентиляционной установки по прямому назначению.

9
ЗВУК



Краткое содержание главы

- Общие представления о звуке
- Звуковое давление и уровень звукового давления.
- Среднеквадратичное значение.
- Уровень звуковой мощности.
- Сложение уровней звукового давления и звуковой мощности.
- Частота.
- Коррекция по шкале А

Общие представления о звуке

Однородный и не беспокоящий звук является, наряду с оптимальной температурой и оптимальной скоростью воздуха, одним из важнейших требований к вентиляционной системе. Вентиляционная установка необходимой мощности позволяет решить целый ряд вопросов, связанных с микроклиматом в помещении. Такое решение предполагает тщательную разработку проекта здания, включая такой немаловажный аспект, как акустические расчеты.

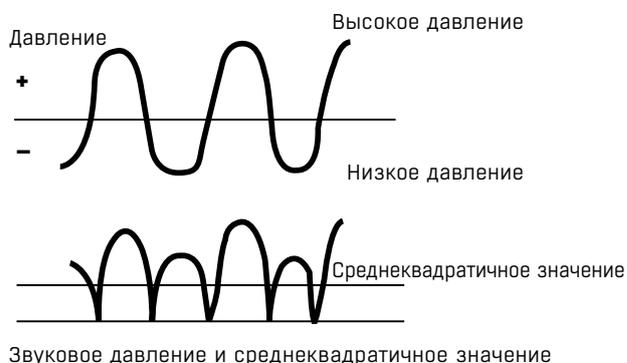
Важнейшими источниками шума в вентиляционной системе являются вентиляторы, вентиляционная установка, воздушные клапаны и воздухораспределители. В частности, шум вентиляторов может распространяться по зданию как через его конструктивные элементы, так и по системе воздуховодов. Для подавления шума должны быть приняты специальные меры. В системах приточного и удаляемого воздуха вблизи вентиляторов и воздушных клапанов обычно необходима установка глушителей.

В случае диффузоров уровень шума может быть снижен только путем использования диффузоров другого типа, размера и т.п.

Звук

Звук представляет собой изменения давления воздуха (или иной среды), вызывающие колебания барабанной перепонки уха.

Среднеквадратичное значение этих изменений давления называется эффективным звуковым давлением p , Па. Звуковое давление p сравнивается со опорным значением $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па, которое считается наименьшим слышимым уровнем звука, порогом слышимости.



Уровень звукового давления рассчитывается по формуле:

$$L_p = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right) = 20 \log \left(\frac{p}{2 \cdot 10^{-5}} \right)$$

где

L_p — уровень звукового давления, дБ;

p — звуковое давление, Па;

p_0 — опорное значение звукового давления, Па.

Для того, чтобы давление воздуха изменялось, необходим источник энергии. Таким образом, звуковое давление создается одним или несколькими источниками звука, т.е. источниками звуковой энергии определенной звуковой мощности. Звуковая мощность сравнивается с опорным значением $W_0 = 10^{-12}$ Вт.

Уровень звуковой мощности рассчитывается по формуле:

$$L_w = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right) = 10 \log \left(\frac{W}{2 \cdot 10^{-12}} \right)$$

где

L_w — уровень звуковой мощности, дБ;

W — звуковая мощность, Вт;

W_0 — опорное значение звуковой мощности, Вт.

С помощью понятия звуковой мощности можно описать общее количество звуковой энергии, производимой механизмом. При этом состояние окружающей среды не рассматривается. Напротив, понятие звукового давления описывает интенсивность звука в какой-либо точке окружающей среды. Звук распространяется от корпуса вибрирующего механизма.

Звуковые волны передаются от вибрирующей поверхности воздуху. Это похоже на распространение кругов на поверхности воды. Распространяясь в воздухе, звуковые волны постепенно затухают вследствие трения.

Чем больше расстояние от источника звука, тем звук тише.

Уровень звукового давления зависит от уровня звуковой мощности источника звука, от характеристик окружающей среды, в частности, ее звукопоглощающих свойств, а также от расстояния до источника звука. В связи с этим в каталоге продукции для различных устройств указаны значения звуковой мощности, на основании которых могут быть рассчитаны уровни звукового давления для каждого конкретного случая.

Уровни звукового давления и звуковой мощности являются логарифмическими величинами, поэтому они не могут складываться как линейные величины. При наличии двух источников звука с уровнями звуковой мощности 50 дБ их общий уровень звуковой мощности не будет равен 100 дБ. Уровни звукового давления и звуковой мощности должны складываться логарифмически.

$$L_p = 10 \log \left(10^{\frac{L_p 1}{10}} + 10^{\frac{L_p 2}{10}} \right)$$

Общий уровень звуковой мощности двух источников звука с уровнями звуковой мощности 50 дБ будет равен $10 \times \log(100\,000 + 100\,000) = 53$ дБ.

Это означает, что если два источника звука с одинаковыми уровнями звуковой мощности будут работать вместе, общий уровень мощности будет на 3 дБ выше уровня мощности отдельного источника.

Если же вместе работают два источника звука с разными уровнями звуковой мощности, результатом станет увеличение мощности менее чем на 3 дБ. Это увеличение незначительно, если разница уровней звуковой мощности двух источников превышает приблизительно 12 дБ. В случае разницы 2 дБ увеличение составит приблизительно 2 дБ, а в случае разницы 6 дБ — приблизительно 1 дБ. Для сложения уровней звуковой мощности можно использовать приведенный ниже график.

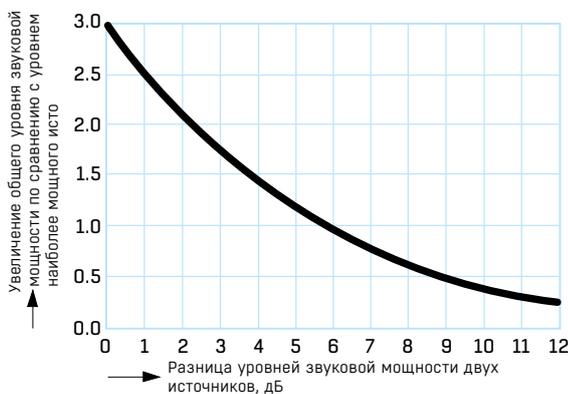
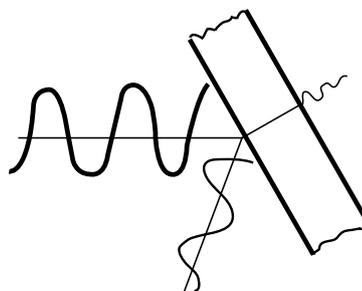


График для логарифмического сложения уровней звуковой мощности двух источников

Когда звуковая волна встречается с поверхностью твердого тела, происходят три процесса. Часть энергии волны поглощается твердым телом, часть проходит через него насквозь и часть отражается от его поверхности.

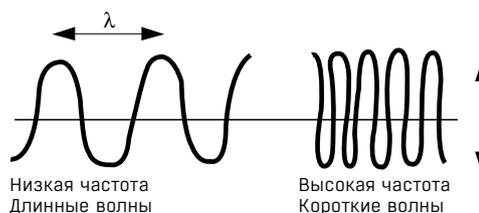


Звуковые волны сталкиваются с поверхностью

См. рисунок ниже. Разница между уровнем звуковой мощности первоначальной волны и уровнем звуковой мощности исходящих из тела звуковых волн называется звукопоглощением. Звукопоглощение линейно вычитается из первоначального уровня звуковой мощности.

Частота

Количество волн, ударяющихся о нашу барабанную перепонку в течение одной секунды, называется частотой, f , Гц. Расстояние между гребнями двух соседних волн называется длиной волны, λ , м.



Низкие и высокие частоты

Скорость распространения звука, c , зависит от свойств среды, в которой он распространяется. Скорость распространения звука в воздухе составляет приблизительно 340 м/с. Зависимость между тремя описанными величинами представлена ниже:

$$c = f \lambda,$$

где

c — скорость, м/с;

f — частота, Гц;

λ — длина волны, м.

Музыкальные инструменты способны давать чистые тона, т.е. звуки одной частоты. Механизмы обычно производят шумы в широком спектре частот, иногда с пиками мощности на определенных частотах.

Человеческое ухо воспринимает звуки в диапазоне частот от 20 до 20 000 Гц. Диапазон от 100 до 5 000 Гц мы слышим лучше всего. Для практических целей акустические данные представлены в каталогах как суммарные величины для каждой из восьми октавных полос:

Октавная полоса							
1	2	3	4	5	6	7	8
Центральная частота, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Диапазон частот, Гц							
44–88	88–177	177–354	354–707	707–1410	1410–2830	2830–5660	5660–11300

Коррекция по шкале А

Уровень звуковой мощности удобно представлять в виде одного числа. Для этого необходимо сложить как логарифмические величины уровни звуковой мощности всех октав источника. В результате источник будет характеризоваться одним значением звуковой мощности. Данный метод часто используется для указания уровней шума вентиляторов в таблицах технических характеристик. Однако человеческое ухо не способно одинаково хорошо слышать все частоты. Мы слышим высокие частоты гораздо лучше, чем низкие. Чтобы указать уровень звукового давления с учетом нашего восприятия звуков различных частот, было предложено несколько стандартных шкал. Одной из них является шкала А.

Шкала А хорошо отображает восприятие звуков нашим ухом приблизительно до уровня 55 дБ, однако она часто используется и для более громких шумов. Например, вентиляторы нередко производят шум громкостью от 80 до 100 дБ. В каждой октавной полосе к исходным значениям уровня звукового давления добавляются корректирующие значения шкалы А. Путем логарифмического сложения полученных результатов получается суммарное значение уровня звукового давления, дБ (А).

При низких уровнях звукового давления, например, в жилых зданиях, шкала А

показывает, насколько чувствительно наше ухо к различным октавным диапазонам. В таблице показаны значения коррекции по шкале А для различных октавных диапазонов.

При высоких уровнях звукового давления, например, в шумных цехах, шкала А показывает

Октавная полоса							
1	2	3	4	5	6	7	8
Центральная частота, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Коррекция, дБ (А)							
-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1

подверженность человека заболеваниям органов слуха. Во многих странах законодательно установлены максимальные допустимые уровни звукового давления на рабочем месте.

Источники шума в вентиляционных установках

Основными источниками шума в вентиляционных установках являются вентиляторы. Как и иные механизмы, вентиляторы производят шумы в широком диапазоне частот. Интенсивность и иные характеристики этих шумов зависят от скорости воздушного потока и создаваемого вентилятором давления, а также от ряда других факторов. Акустические данные, имеющиеся в каталоге компании, основаны на результатах испытаний, проводимых в специальных камерах для испытания вентиляторов. Акустические данные представлены в таблицах технических характеристик вентиляторов в виде суммарных уровней звуковой мощности, L_{wf}. Прочие компоненты вентиляционных систем обычно способствуют снижению уровня шума, однако могут и сами являться его источниками. Воздуховоды должны быть надлежащим образом изолированы, т.к. звук изнутри воздуховода может проходить через его стенку в помещение вентиляционной установки.

Уровень звукового давления в помещении вентиляционной установки определяется его формой, размерами и количеством имеющихся в нем звукопоглощающих материалов.

Помимо этого, в суммарный уровень звукового давления в помещении могут вносить свой вклад другие установленные в нем механизмы.

Связь уровня звуковой мощности и уровня звукового давления

Уровень звукового давления может быть оценен исходя из уровня звуковой мощности с помощью приведенных ниже формул.

Уровень звукового давления в воздуховоде:

$$L_p = L_w - 10 \log A,$$

где

L_p — уровень звукового давления, дБ;

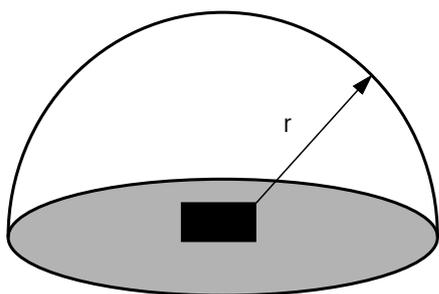
L_w — уровень звуковой мощности, дБ;

A — площадь поперечного сечения воздуховода, м².

Если воздуховод имеет площадь поперечного сечения менее 1 м², уровень звукового давления будет превышать уровень звуковой мощности. Если же площадь поперечного сечения воздуховода превышает 1 м², наблюдается обратная картина.

Вне помещения

Звук распространяется от источника во всех направлениях. В случае отсутствия стен и потолков распространение звука можно представить в виде полусферы.



Расстояние от источника звука

Уровень звукового давления на расстоянии r от источника выражается формулой:

$$L_p = L_w - 10 \log 2\pi r^2,$$

где

L_p — уровень звукового давления, дБ;

L_w — уровень звуковой мощности, дБ;

r — расстояние (радиус полусферы), м.

В реальности на уровень звукового давления вне помещения влияют форма и размеры стоящих рядом зданий, а также сила и направление ветра.

В помещении

Распространение звука в помещении определяется местонахождением его источника относительно стен, полов и потолков. Имеющиеся в помещении поверхности поглощают звук. При этом мягкие поверхности поглощают больше звуковой энергии, чем твердые. Способность поверхности поглощать звуковую энергию определяется коэффициентом звукопоглощения α .

Коэффициент α принимает значения от 0 до 1 и обычно зависит от частоты звука. Для описания звукопоглощения в помещении площади поверхностей различных имеющихся в нем материалов умножаются на соответствующие коэффициенты звукопоглощения с суммированием полученных значений.

$$A = A_1 \cdot \alpha_1 + A_2 \cdot \alpha_2 + A_3 \cdot \alpha_3 + \dots + A_n \cdot \alpha_n,$$

где

A — эквивалентная площадь звукопоглощения, м²;

A_i — площади отдельных поверхностей в помещении, м², $i = 1 \dots n$;

α_i — коэффициенты звукопоглощения соответствующих поверхностей, $i = 1 \dots n$.

Помещение вентиляционной установки, как правило, имеет твердые поверхности. Стены, пол и потолок этого помещения обычно не покрыты мягкими материалами. Однако воздуховоды имеют изоляцию, благодаря чему звукопоглощение в помещении несколько увеличивается.

Другим параметром, описывающим звукопоглощение в помещении, является время реверберации. Время реверберации — это время, необходимое для того, чтобы после внезапного отключения источника звука уровень звукового давления в помещении упал на 60 дБ.

$$T = 0,16 \cdot \frac{V}{A}$$

где

T — время реверберации, с;

V — объем помещения, м³;

A — эквивалентная площадь звукопоглощения, м².

Данная формула применима к помещениям с низким звукопоглощением ($\alpha < 0,2$), с которыми обычно и приходится иметь дело на практике.

В помещениях вентиляционных установок коэффициент звукопоглощения чрезвычайно низок и обычно лежит в пределах от 0,05 до 0,1. Это означает, что уровень звукового давления в таком помещении обычно приблизительно равен сумме уровней звуковой мощности механизмов в помещении.

Уровень звукового давления в рабочих и жилых помещениях

Вентиляционные установки подают воздух в помещения всех типов, от больших промышленных цехов до номеров в гостиницах. В некоторых помещениях поверхности чрезвычайно твердые, тогда как в других — мягкие. Существуют таблицы средних значений звукопоглощения для помещений различного типа.

Звук способен проникать в помещение не только по воздухопроводу, но и через стены, пол и потолок, а также по воздуху. При расчете суммарного уровня звукового давления необходимо принять во внимание все указанные пути.

Как выбрать тихую вентиляционную установку

Интенсивность шума от вентиляционной установки определяется несколькими факторами.

Ниже перечислены некоторые особенности конструкции вентиляционных установок, способствующие снижению шума:

1. Низкая скорость движения воздуха.
2. Большой диаметр вентилятора.
3. Корпус с толстой изоляцией (в разумных пределах).

Следует помнить, что звук может проникать в воздухопровод из помещения вентиляционной установки, тем самым сводя на нет усилия, направленные на обеспечение тишины. Отводы воздухопроводов и иные их компоненты также могут стать источниками шума, поэтому в ряде случаев целесообразна установка концевого глушителя рядом с помещением.

Также не следует забывать о том, что даже глушители сами являются источниками шума. Это минимальный уровень шума, который может быть достигнут при использовании обычных глушителей.



Однородный и не беспокоящий звук является, наряду с оптимальной температурой и оптимальной скоростью воздуха, одним из важнейших требований к вентиляционной системе. Звук представляет собой изменения давления воздуха (или иной среды), вызывающие колебания барабанной перепонки уха. Среднеквадратичное значение этих изменений давления называется эффективным звуковым давлением p , Па. Исходя из эффективного звукового давления и опорного значения звукового давления (наименьшего слышимого уровня звука), можно рассчитать уровень звукового давления.

Понятие уровня звукового давления описывает интенсивность звука в какой-либо точке окружающей среды. Для описания суммарного количества звуковой энергии, производимой механизмом, используется понятие звуковой мощности. Уровни звукового давления и звуковой мощности являются логарифмическими величинами, поэтому они должны складываться логарифмически.

Количество волн, ударяющихся о нашу барабанную перепонку в течение одной секунды, называется частотой, f , Гц. Расстояние между гребнями двух соседних волн называется длиной волны, λ , м. Скорость распространения звука, c , зависит от свойств среды, в которой он распространяется. Эта скорость может быть рассчитана исходя из длины волны λ и частоты f .

Уровень звуковой мощности удобно представлять в виде одного числа. Для этого необходимо сложить как логарифмические величины уровни звуковой мощности всех октав источника. В результате источник будет характеризоваться одним значением звуковой мощности. Чтобы указать уровень звукового давления с учетом нашего восприятия звуков различных частот, было предложено несколько стандартных шкал. Одной из них является шкала А.

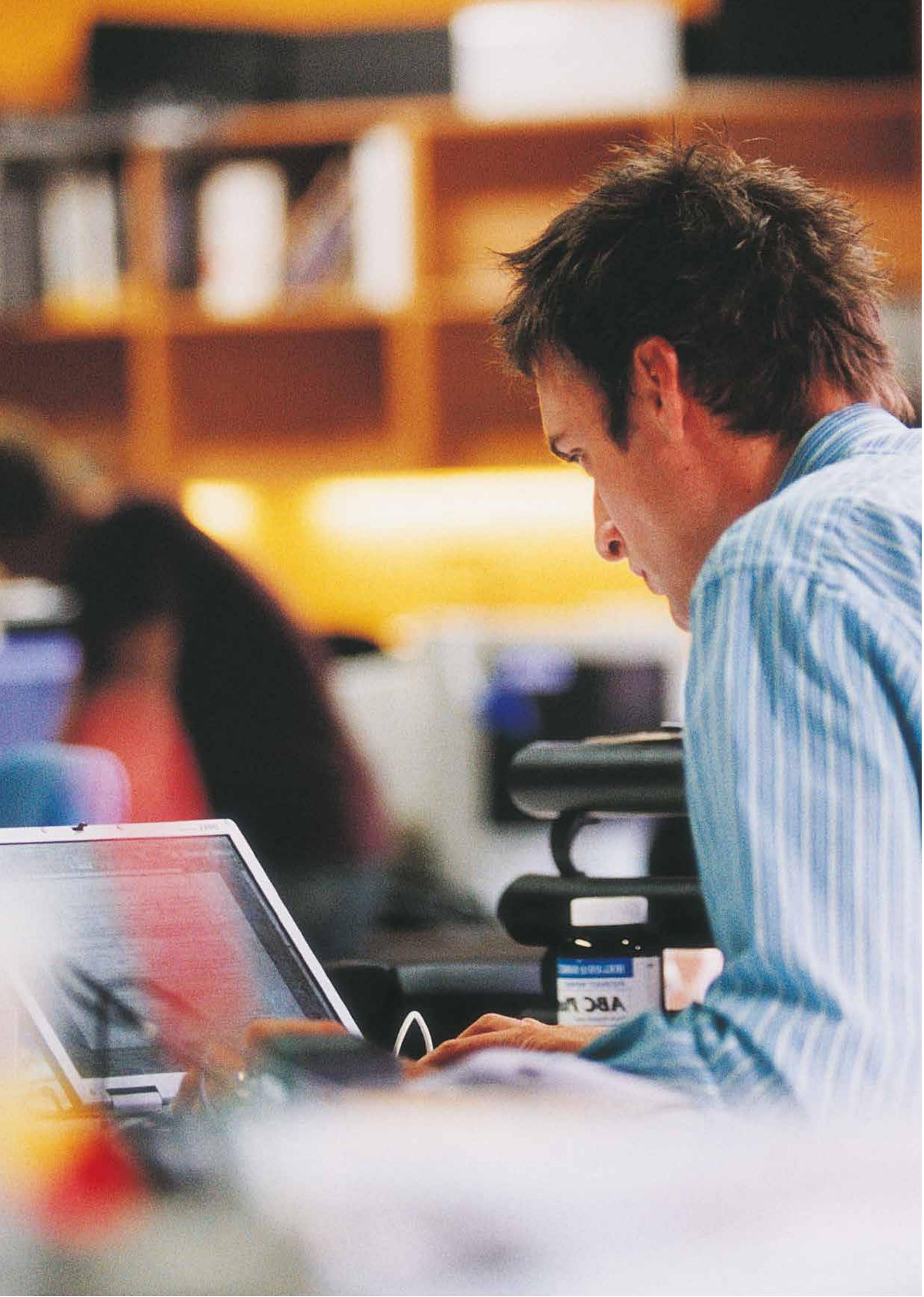
Звук распространяется от источника во всех направлениях. В случае отсутствия стен и потолков распространение звука можно представить в виде полусферы. Аналогично звук распространяется и в помещении, однако часть его энергии поглощается встречающимися на его пути поверхностями.

При этом мягкие поверхности поглощают больше звуковой энергии, чем твердые. Способность поверхности поглощать звуковую энергию определяется коэффициентом звукопоглощения.

Интенсивность шума от вентиляционной установки определяется несколькими факторами.

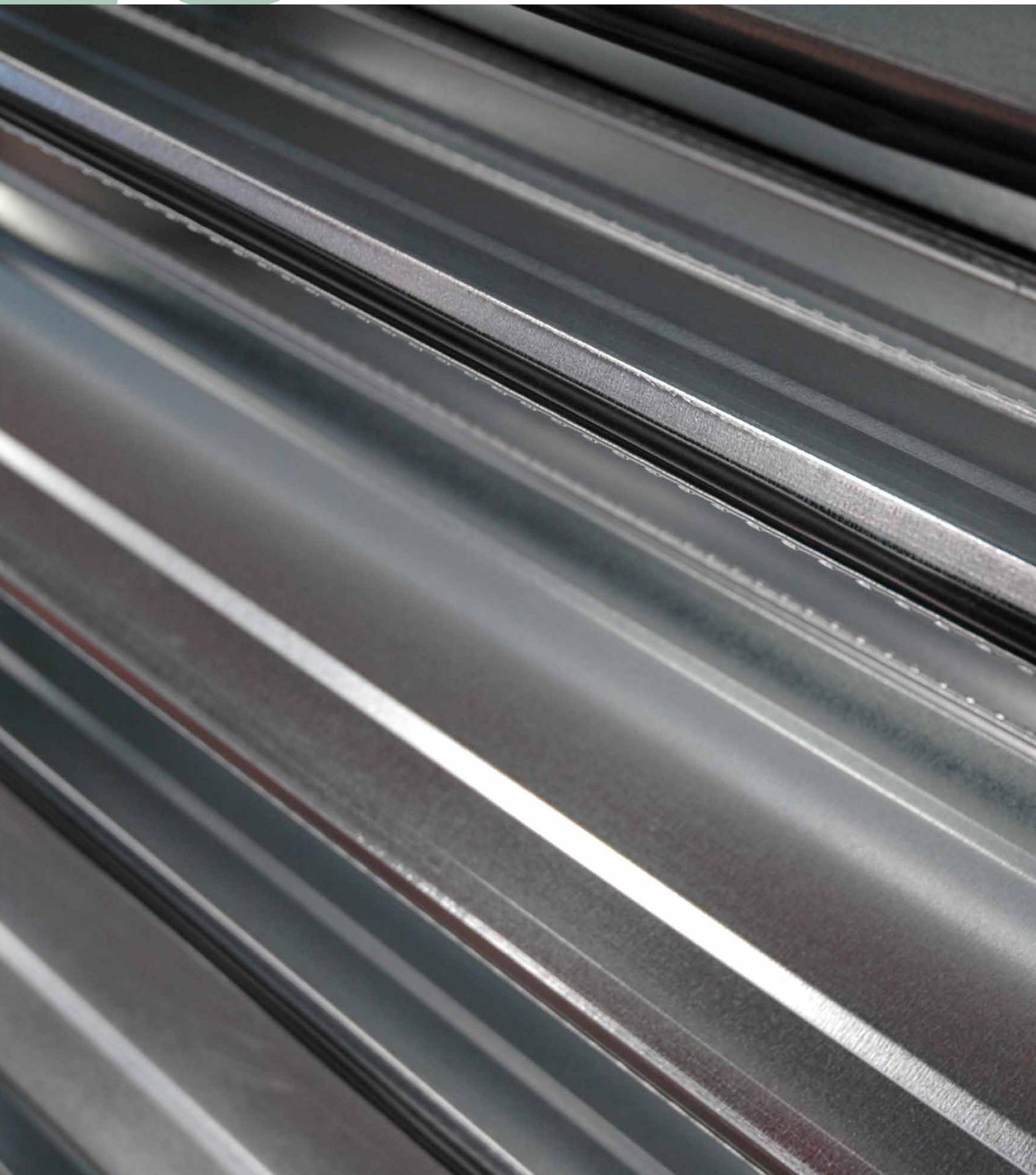
Ниже перечислены некоторые особенности конструкции вентиляционных установок, способствующие снижению шума:

1. Низкая скорость движения воздуха.
2. Большой диаметр вентилятора.
3. Корпус с толстой изоляцией.



10

Воздушные клапаны



Краткое содержание главы

- Воздушные клапаны в вентиляционных установках.
 - Регулирование расхода воздуха.
 - Смешение потоков воздуха.
 - Регулирование расхода воздуха в режиме обхода.
 - Запорные воздушные клапаны.
- Функциональные свойства воздушных клапанов.
- Свойства смеси.
- Утечки воздуха.

Воздушные клапаны предназначены для регулирования расхода воздуха в воздуховоде или вентиляционной установке.

В вентиляционных установках воздушные клапаны выполняют следующие функции:

- Регулирование расхода воздуха.
- Смешение потоков воздуха.
- Регулирование расхода воздуха в режиме обхода.
- Запорные воздушные клапаны.

Регулирование расхода воздуха

В процессе поворота створок клапана из горизонтального положения в вертикальное происходит постепенное увеличение перепада давления на клапане. Увеличение перепада давления приводит к снижению расхода воздуха.

Смешение потоков воздуха

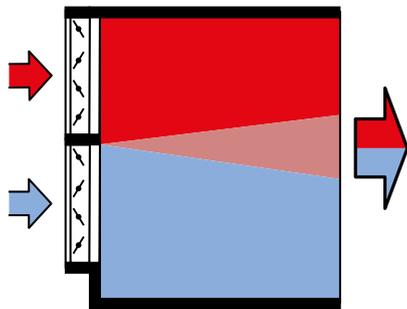
В системах, допускающих использование возвратного воздуха, воздушные клапаны используются для регулирования расхода возвратного, свежего и удаляемого воздуха. Процесс смешения регулируется таким образом, чтобы обеспечить минимальное требуемое содержание свежего воздуха в полученной смеси, сведя при этом к минимуму потребность в обогреве или охлаждении.



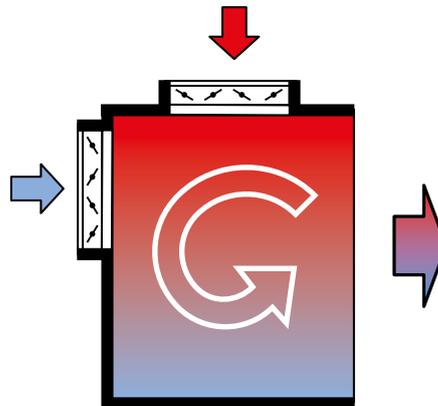
Функционирование воздушного клапана



Смешение



Низкая эффективность смешения



Высокая эффективность смешения

Свойства смеси

С практической точки зрения в вопросе свойств смеси представляет интерес лишь случай двух воздушных клапанов в секции приточного воздуха вентиляционной установки.

Два клапана установлены перед смесительной камерой. Один из них предназначен для регулирования расхода наружного воздуха, а другой — для регулирования расхода возвратного воздуха.

Два потока воздуха встречаются друг с другом в смесительной камере. Здесь по возможности должно достигаться полное смешение потоков, результатом чего должен стать выходящий из камеры поток воздуха с постоянной температурой на всей площади его поперечного сечения.

Способность смесительной камеры смешивать теплый и холодный воздух количественно выражается с помощью эффективности смешения. Определение данного параметра дается в стандарте Европейского комитета по стандартизации.

Высокую эффективность смешения демонстрируют смесительные камеры, в которых воздушные потоки встречаются под прямым углом. Если же потоки выходят из одной стенки камеры, эффективность смешения оказывается более низкой.

При низкой эффективности смешения выходящий из камеры поток воздуха имеет неоднородную температуру. В нижней части функциональной секции воздух является более холодным. Это может стать причиной ненадлежащего функционирования следующего далее оборудования, например, теплообменников и фильтров.

Поток холодного воздуха может даже вызвать замерзание и разрыв теплообменника. Подобные аварии возможны в случае неисправности датчика температуры, расположенного после смесительной камеры.

Регулирование расхода воздуха в режиме байпас

Воздушные клапаны могут также использоваться для регулирования расхода воздуха, подаваемого через байпас в обход какого-либо узла вентиляционной установки, например, пластинчатого теплообменника.

Подача части воздуха в обход пластинчатого теплообменника позволяет регулировать количество утилизированной теплоты и, таким образом, температуру приточного воздуха. Помимо этого, функция байпас может использоваться в условиях оттаивания. В вентиляционных установках с роторными теплообменниками воздушные клапаны могут применяться для снижения давления на стороне удаляемого воздуха с целью предотвращения утечек на стороне приточного воздуха.

Функция байпас иногда используется для регулирования расхода через охлаждающий и нагревающий теплообменники. Функциональная секция вентиляционной установки разделена на две подсекции, одна из которых представляет собой теплообменник, а другая — воздушный клапан. Для регулирования расхода воздуха в максимально широких пределах теплообменник также может быть оснащен передним воздушным клапаном. В случае нагревающих теплообменников данный метод позволяет регулировать температуру приточного воздуха без снижения расхода воды в теплообменнике. Благодаря этому удается предотвратить замерзание теплообменника в условиях

холодного климата. В случае охлаждающих теплообменников обходной воздушный клапан может использоваться для регулирования параметров приточного воздуха в определенных пределах путем смешения потоков различной температуры и влажности. Однако при этом существует риск образования конденсата на внутренних поверхностях оборудования, расположенного после теплообменника.

Запорные воздушные клапаны

Существует несколько различных типов запорных воздушных клапанов. Каждый из этих типов имеет собственное назначение. Регулирующие клапаны простой конструкции, такие как воздушные клапаны с непараллельными створками, используются для перекрытия воздуховода при остановке вентилятора. Клапаны более сложной конструкции используются для противопожарной и противодымной защиты. Эти клапаны в штатном режиме полностью открыты, а при обнаружении дыма или повышения температуры быстро закрываются для предотвращения распространения огня и дыма.

Еще одним типом запорных клапанов являются воздушные клапаны прямого действия. Клапаны данного типа часто используются на стороне выпуска вытяжного вентилятора с целью предотвратить вызываемое ветром движение воздуха в воздуховоде в обратном направлении при отключенном вентиляторе.



Открытый воздушный клапан. За клапаном виден фильтр



Закрытый воздушный клапан

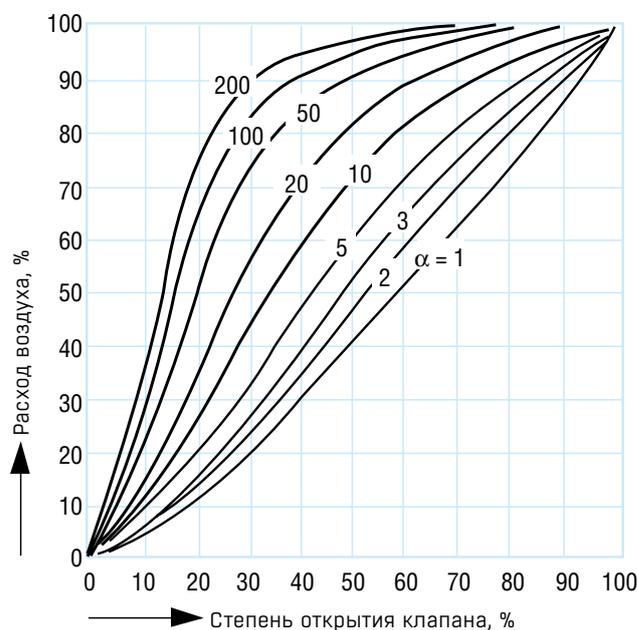
Створки воздушного клапана

Воздушные клапаны могут иметь параллельные или непараллельные створки. Эти два типа клапанов различаются по своим функциональным характеристикам. Помимо этого, функциональные характеристики воздушных клапанов зависят от перепада давления в системе. Если он велик, необходим большой перепад давления на воздушном клапане, при условии что расход воздуха будет регулироваться с помощью клапана. Обычно перепад давления в системе значительно превышает перепад давления на открытом воздушном клапане.

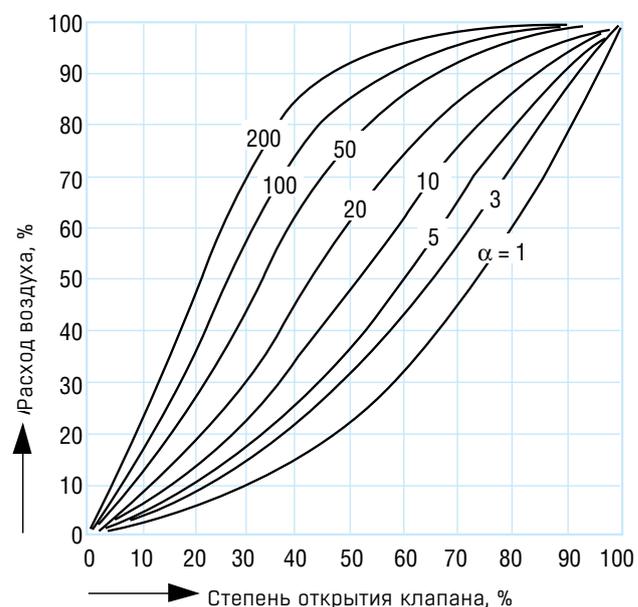
На графиках показаны примеры зависимости расхода воздуха от степени открытия воздушных клапанов при различных значениях параметра α , являющегося отношением перепада давления во всей системе к перепаду давления на полностью открытом воздушном клапане.

Оптимальным для данного параметра является значение, при котором наблюдается линейная зависимость между степенью открытия воздушного клапана и расходом воздуха. Из графиков видно, что при больших значениях параметра α клапаны с непараллельными створками обеспечивают более линейную зависимость между степенью открытия и расходом, т.е. являются более предпочтительными.

Поэтому в вентиляционных установках обычно используются клапаны данного типа.



Воздушный клапан с параллельными створками.



Воздушный клапан с непараллельными створками

Утечка воздуха из закрытого воздушного клапана

Объем утечки воздуха из закрытого воздушного клапана является важной характеристикой клапана, описанной в стандарте Европейского комитета по стандартизации.

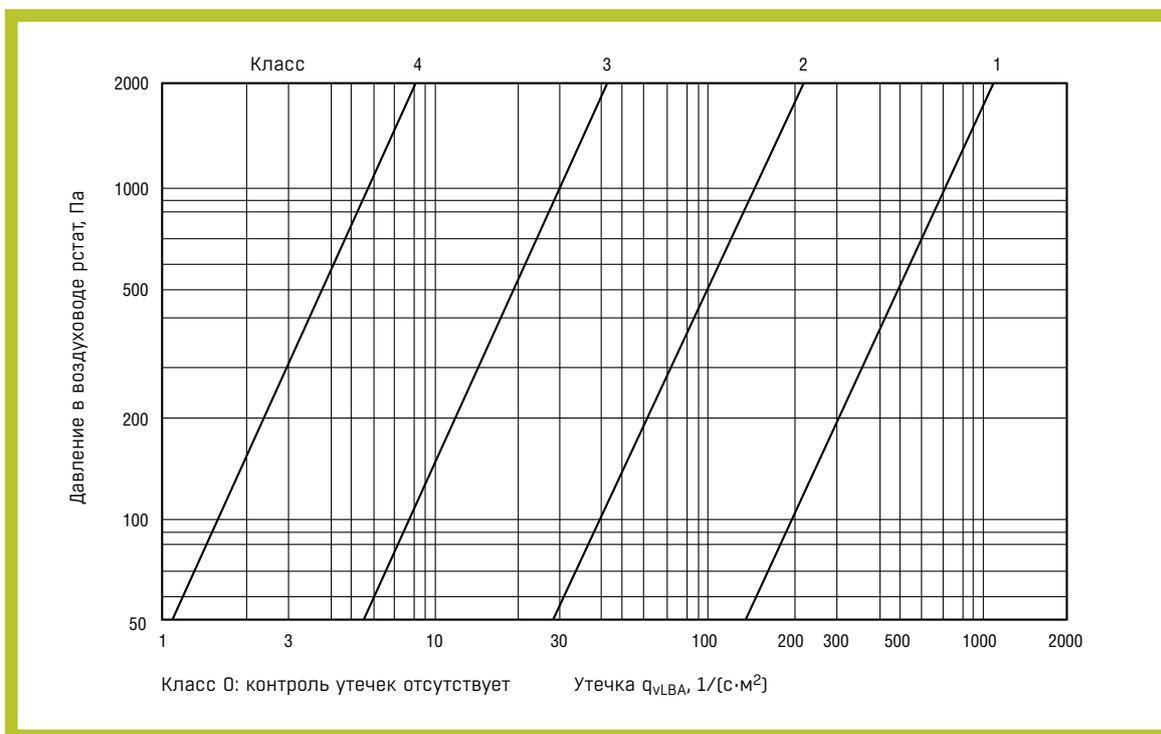
Герметичность закрытых воздушных клапанов определяется жесткостью створок, а также качеством прокладок в местах контактов створок друг с другом и с корпусом клапана.

Классы герметичности клапанов вентиляционных установок

Классы Европейского комитета по стандартизации	4	3	2	1
--	---	---	---	---

По герметичности клапаны подразделяются на классы 0, 1, 2, 3 и 4.

Классы 1, 2, 3, 4 На рисунке показаны допустимые максимальные утечки q_{VLBA} , $l \cdot c^{-1} \cdot m^{-2}$ через закрытые створки клапана в зависимости от статического давления в воздуховоде p_s , Па.



Классификация клапанов по объему утечек через закрытые створки

Утечка воздуха через корпус воздушного клапана

Объем утечки воздуха через корпус воздушного клапана также является характеристикой, описанной в стандарте Европейского коми

Необходимый крутящий момент

При выборе подходящего привода воздушного клапана требуется знать величину крутящего момента, необходимого для поворота створок клапана.

Давление

Каждый воздушный клапан рассчитан на определенный перепад давления, который не должен превышать. Поэтому при проектировании вентиляционных установок следует принимать во внимание технические характеристики клапанов.



Воздушные клапаны предназначены для регулирования расхода воздуха, смешения потоков воздуха и перекрытия воздуховодов.

В вентиляционных установках воздушные клапаны выполняют следующие функции:

- Регулирование расхода воздуха.
- Смешение потоков воздуха
- Регулирование расхода воздуха в режиме обхода.
- Перекрытие воздуховодов.

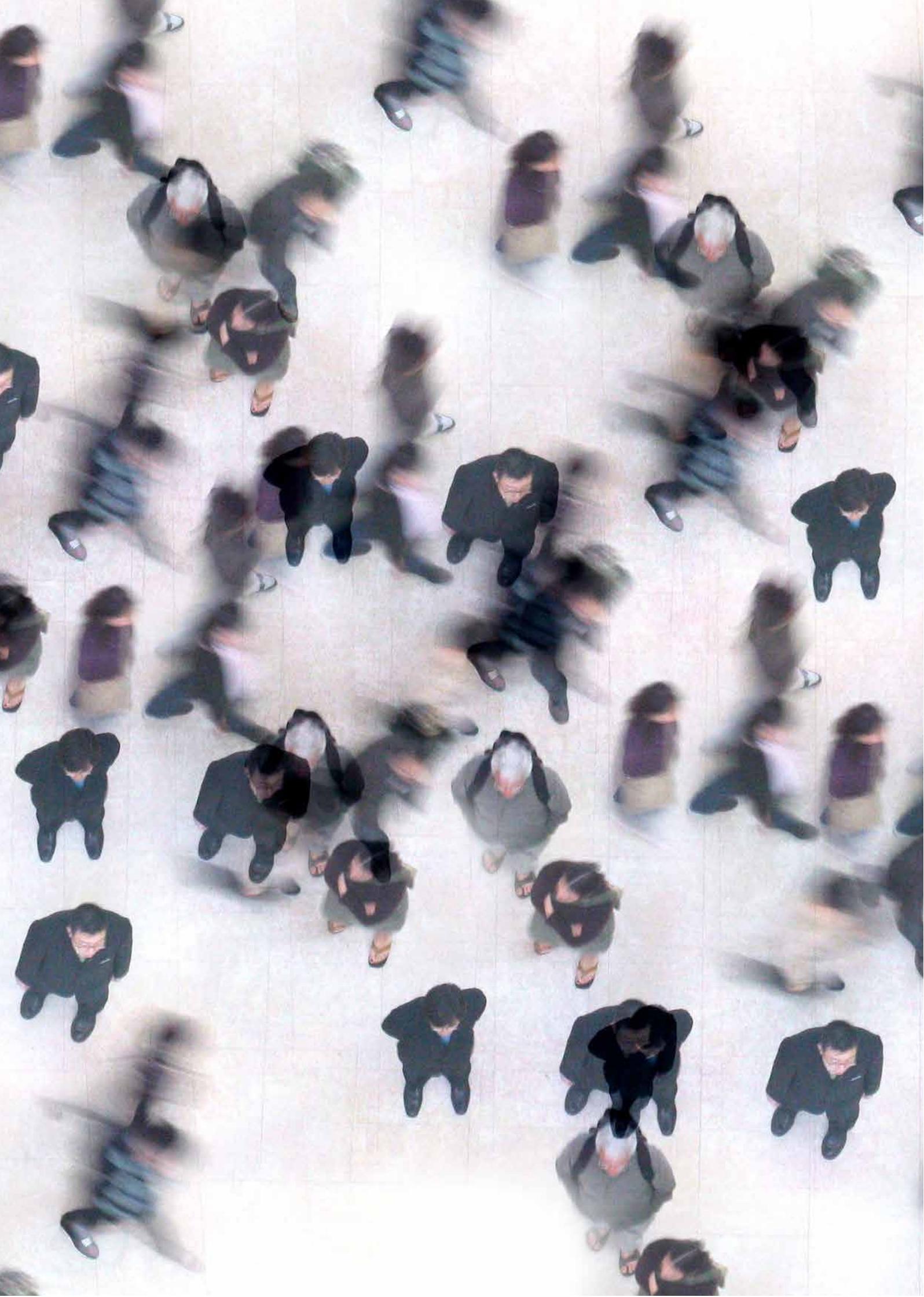
Створки воздушного клапана
Воздушные клапаны могут иметь параллельные или непараллельные створки.
Эти два типа клапанов различаются возможностями регулировки.
Функциональные характеристики воздушных клапанов зависят от перепада давления в системе. В вентиляционных установках обычно используются воздушные клапаны с непараллельными створками как более подходящие по своим характеристикам.

Свойства смеси

Смесительные камеры, в которых воздушные потоки встречаются под прямым углом, демонстрируют более высокую эффективность смешения. Если же потоки выходят из одной стенки камеры, эффективность смешения оказывается не столь высокой. При низкой эффективности смешения выходящий из камеры поток воздуха имеет неоднородную температуру. В нижней части функциональной секции воздух является более холодным.

Герметичность и утечки

Герметичность закрытых воздушных клапанов определяется жесткостью створок, а также качеством прокладок в местах контактов створок друг с другом и с корпусом клапана. Допустимые объемы утечек для клапанов описаны в стандарте Европейского комитета по стандартизации. При выборе подходящего привода воздушного клапана требуется знать величину крутящего момента, необходимого для поворота створок клапана.



11

Фильтры



Краткое содержание главы

- Назначение фильтров.
- Загрязнения в окружающем воздухе.
- Принцип работы фильтра твердых частиц.
- Испытания и классификация фильтров твердых частиц.
- Перепад давления на фильтре твердых частиц.
- Угольные фильтры.
- Фильтры в вентиляционных установках.
- Монтаж

Загрязнения воздуха, источниками которых являются человек, а также различные материалы и технологические процессы, должны удаляться с помощью вентиляционных систем. Наружный воздух, подаваемый в помещение, должен быть максимально чистым.

Очистка воздуха осуществляется с помощью фильтров. В большинстве вентиляционных систем фильтры располагаются непосредственно за впускным отверстием вентиляционной установки. Благодаря этому далее в установку попадает уже очищенный воздух. Удаляемый воздух, т.е. воздух из помещений, нередко очищается тем же способом. Фильтр позволяет защитить вентиляционную установку и воздуховоды приточного воздуха от загрязнений, тем самым сокращая потребность в чистке и улучшая качество воздуха в помещениях без увеличения кратности воздухообмена.

Если воздух подается в операционные или в чистые производственные помещения, он должен подвергаться особо тщательной фильтрации. Для этого применяются высокоэффективные фильтры твердых частиц HEPA.

Угольные фильтры используются в аэропортах, музеях, а также для очистки удаляемого воздуха кухонь, например, для очистки воздуха от посторонних газов.

Вентиляционные системы предназначены для обеспечения высокого качества воздуха в помещениях. Ежедневно мы вдыхаем 20–30 м³

воздуха, причем большая часть этого объема (около 80%) приходится на воздух в помещениях. По данным исследований, воздух в помещениях имеет столь низкое качество, что это часто приводит к различным заболеваниям. Требования к качеству воздуха зависят от назначения помещения.

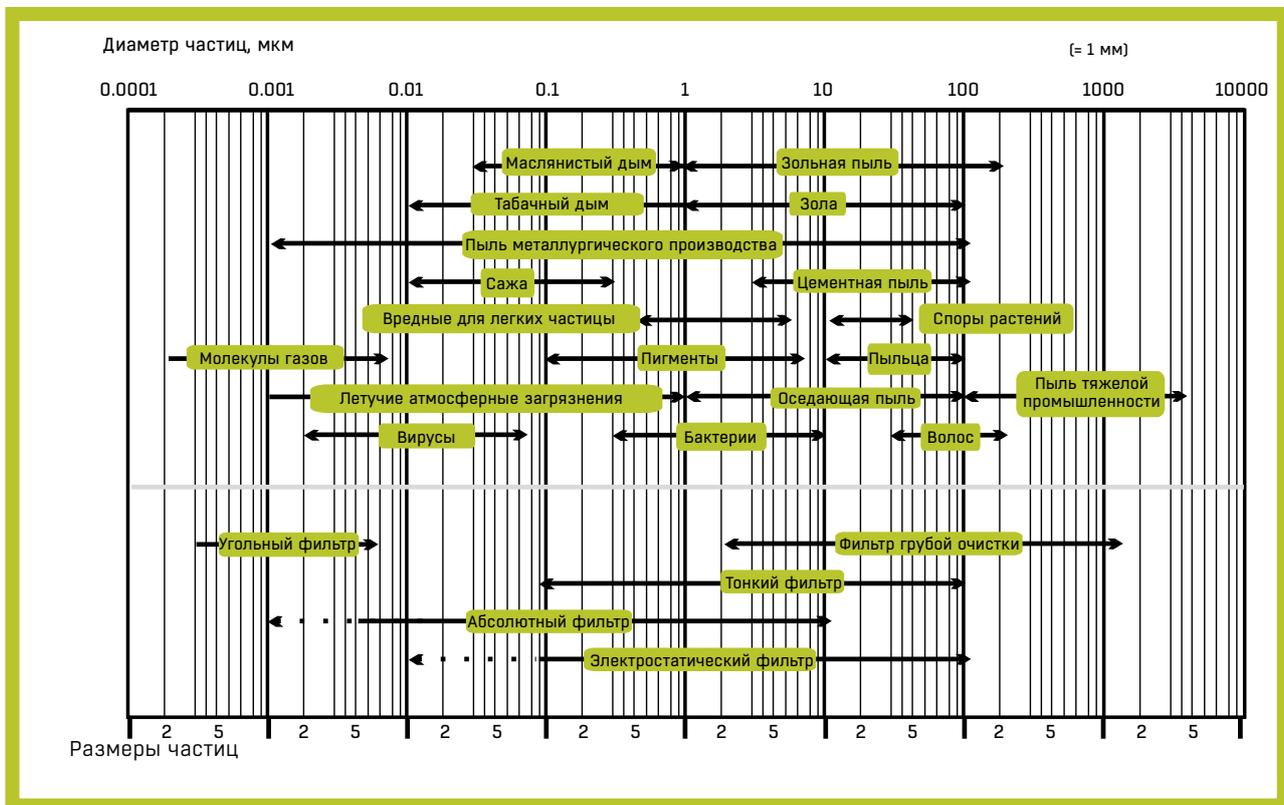
Требования к воздуху в офисных помещениях с одной стороны, и в операционных и чистых производственных помещениях с другой стороны, различаются кардинально. Соответственно различаются и требования к фильтрам.

Загрязнения в окружающем воздухе.

Воздух вокруг нас содержит огромное количество загрязнений. Многие из них имеют естественное происхождение. Это, например, вирусы, пыльца, споры растений. Другие являются результатом деятельности человека. Например, продукты горения, выхлопы автомобилей, промышленные выбросы. Вторая категория обычно является более опасной для здоровья, поскольку содержит большее количество вредных веществ и чаще попадает в легкие. Загрязнения в виде твердых частиц или агломератов удаляются фильтрами твердых частиц, а газообразные загрязнения — угольными фильтрами.

Частицы загрязнений имеют самые разные размеры, см. рисунок на следующей странице. Это могут быть молекулы, вирусы размером менее 0,01 мкм или, например, частицы пыльцы и пыли размером до 100 мкм. Частицы размером более 10 мкм достаточно быстро осаждаются. Вблизи поверхности земли их концентрация в три-четыре раза выше. Лишь примерно 0,1% частиц в атмосфере вблизи поверхности земли имеет диаметр более 1 мкм, однако на них приходится около 70% всей массы пыли.

Для удаления частиц различных размеров используются разные фильтры. Чтобы отфильтровать крупные частицы, достаточно простого фильтра с довольно грубыми волокнами и большими расстояниями между ними. Для удаления мелких частиц используются тонкие фильтры или высокоэффективные фильтры HEPA с тканью из волокон малого диаметра и с малым расстоянием между волокнами.



Принцип работы фильтра твердых частиц

В фильтре твердых частиц имеются один или нескольких слоев ткани, состоящей тонких стеклянных или полимерных волокон. Эта ткань уложена в мешки и закреплена на стеклянной, пластмассовой или деревянной раме. Диаметр волокна варьируется в пределах 1–10 мкм

Стекловолокно имеет меньший диаметр, чем полимерные волокна.

Также встречаются простые фильтры с алюминиевым волокном. Они являются моющимися.

По мере прохождения воздуха через фильтр некоторая часть содержащихся в нем частиц застревает на волокнах фильтра или между ними. Чем больше в фильтре волокон и чем они тоньше, тем больше частиц будет удалено из воздуха.

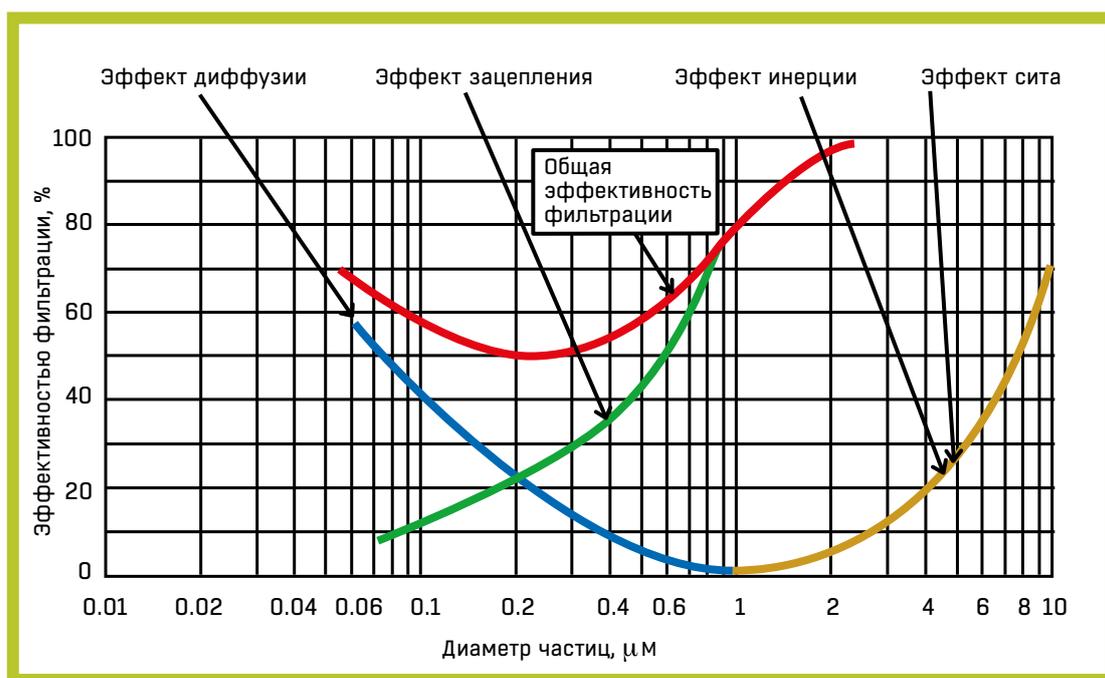
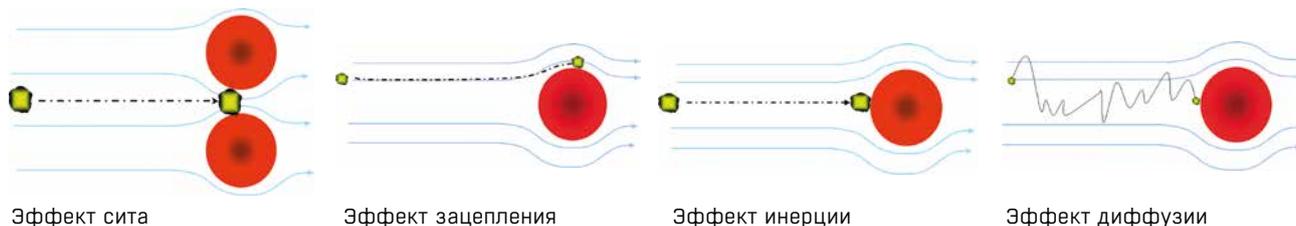
По мере забивания фильтра пылью на нем увеличивается перепад давления. При этом его способность задерживать пыль также возрастает. Увеличение перепада давления снижает расход воздуха в вентиляционной системе или приводит к

росту энергопотребления вентиляторов, если в конструкции вентиляционной установки предусмотрено автоматическое поддержание постоянного расхода. Для снижения перепада давления на фильтре и увеличения срока его службы используются фильтры с несколькими мешками. Способность фильтра задерживать частицы пыли определяется главным образом четырьмя механическими эффектами и одним электростатическим. Механическими эффектами являются эффект сита, эффект зацепления, эффект инерции и эффект диффузии.

Электростатический эффект наблюдается в фильтрах из некоторых синтетических материалов. Данный эффект проявляется одновременно с механическими эффектами, однако довольно быстро гаснет. После этого остаются лишь механические эффекты. Общая эффективность фильтрации определяется суммарным действием всех указанных

эффектов. На рисунке ниже показана значимость каждого из четырех механических эффектов для стекловолоконного фильтра класса F7. Как видно из рисунка, эффективность фильтрации зависит от размера частиц и является минимально для частиц диаметром около 0,25 мкм. Наличие подобного минимума характерно для всех фильтров частиц. Соответствующий размер частиц называется размером частиц с наибольшей проникающей способностью. Проникающая способность частиц, %, определяется как 100% минус эффективность фильтрации, %.

Для частиц малого размера основным эффектом является эффект диффузии. Для обеспечения высокой эффективности фильтрации частиц малого размера фильтр должен иметь большое количество тонких волокон.



Эффективность фильтрации фильтра класса F7

Испытания и классификация фильтров твердых частиц

Фильтры твердых частиц, предназначенные для вентиляционных установок, испытываются и классифицируются согласно стандарту Европейского комитета по стандартизации EN 779: 2002.

Эффективность фильтрации, выраженная в процентах, изменяется с помощью аэрозоля с диаметром частиц 0,4 мкм. Испытания проводятся в несколько этапов, на каждом из которых в воздух добавляется синтетическая пыль вплоть до достижения конечного перепада давления. Затем рассчитывается среднее значение эффективности фильтрации E_m .

Если эффективность фильтрации E_m ниже 40%, это грубый фильтр (класс G). Такие фильтры классифицируются в соответствии с их способностью задерживать синтетическую пыль A_m . Если значение E_m больше или равно 40%, это тонкий фильтр (класс F). Такие фильтры классифицируются в соответствии со средним значением их способности задерживать частицы диаметром 0,4 мкм в условиях испытания, в котором синтетическая пыль подается на фильтр

поэтапно вплоть до достижения конечного перепада давления 450 Па.

В стандарте EN 779 имеется приложение, в котором описана методика удаления электрического заряда с волокон фильтра.

Благодаря этой методике имеется возможность исключить действие электростатического эффекта. После удаления заряда фильтр должен быть подвергнут испытаниям, результаты которых заносятся в протокол испытаний.

Фильтры с чрезвычайно высокой эффективностью фильтрации, например, фильтры HEPA и ULPA, классифицируются согласно стандарту EN 1822.

В основе данной классификации лежит эффективность фильтрации частиц с наибольшей проникающей способностью, т.е. частиц, на которых фильтр демонстрирует наиболее низкую эффективность фильтрации. Каждый фильтр HEPA класса H13 и H14 проходит индивидуальные испытания на заводе-изготовителе.

Классификация фильтра согласно стандарту EN779				Другие классификации фильтров	
Класс	Конечный перепад давления, Па	Способность задерживать синтетическую пыль A_m	Среднее значение эффективности фильтрации E_m	EUROVENT 4/5	ASHRAE
G 1	250	$50 \leq A_m < 65$	-		
G 2	250	$65 \leq A_m < 80$	-		
G 3	250	$80 \leq A_m < 90$	-	EU3	G85
G 4	250	$90 \leq A_m$	-	EU3	G90
F 5	450	-	$40 \leq E_m < 60$	EU5	F45
F 6	450	-	$60 \leq E_m < 80$	EU6	F65
F 7	450	-	$80 \leq E_m < 90$	EU7	F85
F 8	450	-	$90 \leq E_m < 95$	EU8	F95
F 9	450	-	$95 \leq E_m$		

Перепад давления на фильтре твердых частиц

В процессе работы фильтров твердых частиц в них накапливается пыль, в результате чего перепад давления на них постоянно увеличивается. Чем больше площадь фильтра, тем медленнее происходит это увеличение. Поставщики вентиляционного оборудования указывают надлежащие конечные значения перепада давления на фильтре, а также соответствующие штатные значения. Последнее обычно рассчитывается как среднее между начальным (демонстрируемым чистым фильтром) и конечным значениями перепада давления. Штатное значение перепада давления учитывается при выборе вентилятора.

Если вентилятор в вентиляционной системе

работает с постоянной скоростью, расход воздуха может падать по мере засорения фильтра. Величина этого падения зависит от характеристик вентилятора, а также от отношения перепада давления на фильтре к общему перепаду давления в вентиляционной системе.

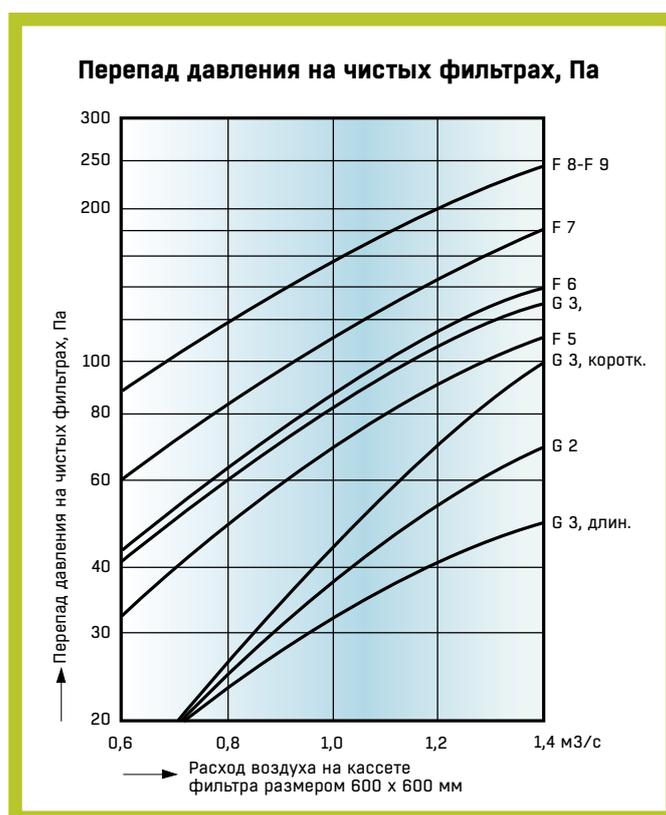
Если же скорость вентилятора регулируется с целью обеспечения постоянного расхода воздуха, она будет расти по мере засорения фильтра.

Ниже представлены типовые графики зависимости перепада давления на чистых фильтрах от расхода воздуха при использовании кассет фильтра размером 600 x 600 мм.

В таблице приводятся значения рекомендуемого увеличения давления для фильтров различных классов для определения конструкции и конечного перепада давления.

Рекомендуемое увеличение давления для чистого фильтра, Па

	G 2	G 3 – G 4	F 5	F 6 – F 9
Для уменьш. перепада давления	35	35	50	50
Для конечного перепада давления	70	70	100	100



Угольные (сорбционные) фильтры

Фильтры, удерживающие газообразные вещества, позволяют удалить нежелательные запахи, а также очистить воздух от иных газообразных примесей. Как правило, в качестве таковых используются угольные фильтры. В них воздух проходит через слой активированного угля. Это микропористый материал, площадь активной поверхности которого достигает 1500 м² на грамм. Для активированного угля характерна плотная сеть пор и трещин, в которых особенно эффективно адсорбируются большие молекулы, в частности, молекулы пахучих веществ.

Путем пропитки угля различными химическими веществами он может быть превращен в селективный адсорбент одного или нескольких газов, например, сероводорода, оксида серы или аммиака. Угольные фильтры характеризуются эффективностью фильтрации, близкой к 100%. Данное значение остается практически неизменным до приближения к адсорбционному насыщению, после чего резко падает. После этого фильтр может быть реактивирован путем нагрева. Важным параметром, влияющим на эффективность фильтрации, является продолжительность контакта воздуха с углем. Чем ниже концентрация удаляемого вещества, тем более длительным должен быть контакт.

В настоящее время не существует европейских стандартов испытания и классификации угольных фильтров. Имеется лишь стандарт компании Nordtest.

Фильтры в вентиляционных установках

Кассеты фильтров выпускаются в нескольких типоразмерах. Наиболее распространены так называемые полноразмерные (600 x 600 мм) и половинчатые (600 x 300 мм) кассеты.

При достижении конечного значения перепада давления фильтры должны заменяться.

Если воздух достаточно чист, достижение

указанного значения может потребовать весьма продолжительного времени. Поэтому из гигиенических соображений рекомендуется заменять фильтры не реже одного раза в год.

Это можно делать, например, по окончании теплого времени года, когда заканчивается сезон пыльцы и иных загрязнителей биологического происхождения. После этого фильтр будет оставаться сравнительно чистым в течение длительного времени.

Предварительные фильтры

Предварительные фильтры вентиляционных установок позволяют продлить срок службы более дорогостоящих тонких фильтров.

В качестве предварительных фильтров обычно используются грубые фильтры классов G3–G4. Несмотря на то, что эти фильтры простой конструкции задерживают лишь крупные частицы загрязнений, наибольшая массовая доля пыли остается именно на них.



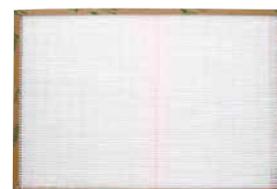
Тонкие фильтры

В тонких фильтрах используются волокна меньшего диаметра по сравнению с грубыми фильтрами. Такие фильтры способны задерживать частицы любого диаметра вплоть до субмикронных. Частицы малого диаметра обычно считаются более опасными для здоровья, чем крупные.

Тонкие фильтры выпускаются в мешочном и компактном исполнениях. Мешочные фильтры имеют значительную поверхность, что способствует снижению перепада давления на фильтре и повышению эффективности фильтрации. Компактные фильтры используются в условиях ограниченного пространства. Такой фильтр представляют собой плотно уложенный гармошкой фильтрующий материал, закрепленный на раме. Несмотря на незначительную общую длину компактных фильтров, их плотная укладка в сочетании с использованием тонкого фильтрующего материала обеспечивают достаточно большую площадь фильтра при приемлемом перепаде давления.



Мешочный фильтр



Компактный фильтр

В большинстве случаев для обеспечения удовлетворительной защиты вентиляционной установки, трубопроводов приточного воздуха и помещений от загрязнений достаточно использовать фильтры твердых частиц классов F5–F7. В черте города воздух является значительно более загрязненным по причине наличия большого количества автомобилей. В этих условиях со стороны приточного воздуха рекомендуется использовать тонкие стекловолоконные фильтры классов F8–F9.

Высокоэффективные фильтры HEPA

Высокоэффективные фильтры HEPA применяются для особо тонкой очистки воздуха. Фильтр данного типа представляет собой тонкий фильтрующий материал с диаметром волокон около 1 мкм, чрезвычайно плотно уложенный гармошкой в деревянную или металлическую раму. Площадь фильтрующего материала может более чем в 70 раз превосходить площадь фронтального сечения рамы, в связи с чем скорость движения воздуха через фильтр является незначительной.

Эта особенность фильтра способствует снижению перепада давления и повышению эффективности фильтрации.

Тем не менее, данные фильтры характеризуются довольно большим перепадом давления по сравнению с традиционными тонкими фильтрами. С другой стороны, в правильно спроектированной и собранной вентиляционной установке с предварительной фильтрацией рост перепада давления на фильтре HEPA с течением времени является незначительным.

Для обеспечения многолетнего функционирования фильтров HEPA перед ними в обязательном порядке должны быть установлены предварительные и тонкие фильтры



высокого класса. Фильтры HEPA используются в случаях, когда их защита с помощью предварительных фильтров (например, класса G3) является экономически обоснованной. Как правило, используются длинные фильтры, что позволяет повысить общую рентабельность вентиляционной системы. Короткие фильтры следует использовать лишь при недостатке свободного пространства. Фильтры HEPA с рамой из листовой стали способны работать в условиях влажности воздуха 100%, однако при этом не следует допускать конденсации влаги на фильтрах.

Угольные фильтры

Угольные фильтры, в т.ч. фильтры с пропиткой, позволяют удалить кухонные запахи в помещениях ресторанов быстрого питания, снизить концентрацию паров авиационного топлива в зданиях аэропортов, а также удалить вызывающие коррозию вещества и иные вредные примеси из воздуха в помещениях архивов, музеев и других подобных учреждений.

Срок службы угольного фильтра плохо поддается прогнозированию. Он зависит от расхода воздуха, концентрации загрязняющих веществ в воздухе (которые обычно известны лишь приблизительно), а также от количества угля в фильтрующем слое.

Также бывает непросто определить, что угольный фильтр нуждается в замене. Долгое время находящийся в работе фильтр может задерживать большую часть загрязнителей в условиях их значительной концентрации, однако при этом демонстрировать нехарактерную для



свежего фильтра низкую эффективность в условиях малой концентрации загрязнителей.

Угольные фильтры с пропиткой могут быть эффективны в отношении ряда веществ, не адсорбируемых обычными угольными фильтрами.

Монтаж

Поток воздуха через поперечное сечение впускного отверстия фильтра должен быть по возможности однородным. В связи с этим резкие изгибы воздуховодов не допускаются. Наружные решетки и впускные воздуховоды должны иметь конструкцию, препятствующую попаданию влаги в фильтр. В прибрежных районах

фильтры могут отсыревать вследствие часто возникающих туманов, засасываемых в вентиляционные системы через воздухозаборники. В подобных случаях под фильтрами должен быть установлен поддон из нержавеющей стали, позволяющий предотвратить коррозию нижней части вентиляционной установки.

В конструкции вентиляционной установки с теплообменником сторона удаляемого воздуха также должна иметь фильтр.

Для увеличения срока службы высокоэффективных фильтров HEPA и угольных фильтров перед ними должны быть установлены стекловолоконные фильтры класса F8 или выше. Высокоэффективные фильтры следует устанавливать со стороны нагнетания приточного вентилятора и, при необходимости, со стороны всасывания вытяжного вентилятора. Если в удаляемом воздухе могут содержаться особо ядовитые и сильнодействующие вещества, фильтры должны устанавливаться не в корпусе

вентиляционной установки, а в так называемых шкафах безопасной переработки.

Перед вентиляционными установками, в состав которых входят фильтры, следует предусмотреть достаточное свободное пространство, необходимое для замены фильтров со стороны впуска и проведения измерений со стороны выпуска.

Фильтры должны монтироваться в вентиляционной установке таким образом, чтобы свести к минимуму протечки воздуха в обход фильтров. Это особенно важно в случае фильтров с высокой эффективностью фильтрации.

Согласно стандарту Европейского комитета по стандартизации, в случае фильтров классов F и G протечки в обход фильтров могут достигать по меньшей мере 10% от объема фильтруемого воздуха. Данное значение включает всасывание воздуха на участке между фильтром и вентилятором. Поэтому фильтры классов F8 и F9 должны устанавливаться со стороны нагнетания вентилятора, чтобы исключить возможность всасывания воздуха в вентиляционную установку после фильтра.

В случае высокоэффективных фильтров с эффективностью фильтрации порядка 99,99% протечки в обход фильтра должны быть крайне незначительными.



Очистка воздуха от загрязнений осуществляется с помощью фильтров. Фильтры твердых частиц обеспечивают очистку воздуха от взвешенных в нем твердых частиц, а угольные фильтры — от газообразных загрязнений. Типичными видами загрязнений являются частицы пыли, микроорганизмы, а также автомобильные выхлопы, продукты горения и промышленные отходы.

В качестве фильтрующего материала в фильтрах твердых частиц используется слой ткани, состоящей из тонких стеклянных или полимерных волокон. В угольных фильтрах фильтрующим материалом является активированный уголь, иногда с химическими добавками. Фильтры твердых частиц подразделяются на грубые фильтры, тонкие фильтры и высокоэффективные фильтры HEPA. Методики испытания и принципы классификации для каждой из этих групп описаны в соответствующих стандартах. Для грубых и тонких фильтров это стандарт EN 779, а для высокоэффективных фильтров HEPA — стандарт EN 1822. Европейских стандартов испытания и классификации угольных фильтров в настоящее время не существует.

Частицы небольшого диаметра и малой массы обтекают волокна фильтра вместе с потоком воздуха. Если такие частицы оказываются вблизи волокна, они притягиваются к нему и остаются на его поверхности.

Задержка частиц на фильтрах твердых частиц осуществляется благодаря четырем

механическим эффектам. Помимо этого, в некоторых фильтрах также играет роль эффект электростатического притяжения. Четырьмя механическими эффектами являются эффект сита, эффект зацепления, эффект инерции и эффект диффузии. Эффект сита и эффект инерции преобладают в случае частиц большого диаметра, а эффект диффузии абсолютно преобладает в случае субмикронных частиц. Электростатический эффект проявляется только в фильтрах из полимерных материалов.

В вентиляционных системах общего назначения в большинстве случаев в качестве фильтров приточного воздуха достаточно использовать фильтры класса F7.

Если в помещении имеются повышенные требования к чистоте, а рядом проходит оживленная автомобильная магистраль, рекомендуется использовать фильтры класса F8 и выше. Для увеличения срока службы высокоэффективных фильтров HEPA и адсорбционных фильтров перед ними должны быть установлены тонкие фильтры класса F8 или выше. Фильтрующий материал этих фильтров должен быть выполнен из стекловолокна.

12 Глушители



Краткое содержание главы

- Диссипативные глушители
- Реактивные глушители.
- Зависимость эффективности глушителя от его ширины и длины.
- Перепад давления на глушителе.
- Собственный шум глушителя.
- Место установки глушителя.
- Измерения.

Глушители предназначены для снижения уровня шума. Ниже описываются механизмы данного процесса и параметры, влияющие на его результат. Вне зависимости от того, установлен ли глушитель в вентиляционной установке или в воздуховоде, основные принципы его работы остаются неизменными. Функции глушителей могут выполнять даже компоненты, изначально не предназначенные для снижения уровня шума. При этом их функционирование будет основано на тех же принципах, что и функционирование глушителей.

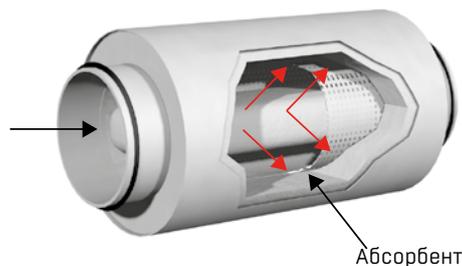
Снижение уровня шума

Закон сохранения энергии гласит, что энергия не исчезает. Поэтому уровень шума может быть снижен либо путем превращения звуковой энергии в тепло, либо путем отведения ее туда, где она наносит меньший ущерб.

Диссипативные глушители

Поглощением звука называется процесс, при котором звуковая энергия превращается в тепло. При прохождении звуковой волны через звукопоглотитель движутся не только молекулы воздуха, но и материал звукопоглотителя (обычно имеющего волокнистую или пористую структуру). В результате трения энергия этого движения преобразуется в тепло. Открытая волокнистая или пористая структура обеспечивает максимально эффективное звукопоглощение в максимально широком диапазоне частот.

Для предотвращения отделения волокон и их уноса потоком воздуха поверхность звукопоглотителя может быть прикрыта тканью из штапельного волокна, например, тканью Clean-tes. Принцип работы диссипативного глушителя показан на рисунке ниже.



Принцип работы диссипативного глушителя

Для увеличения эффективности работы глушителя в центре его могут быть установлены звукопоглощающие перегородки. Эти элементы выполняют ту же звукопоглощающую функцию, что и остальные звукопоглощающие элементы глушителя.

Реактивные глушители

Реактивные глушители снижают уровень шума путем отражения звука (отражательные глушители) или его гашения за счет эффекта резонанса (резонаторные глушители). Принцип работы отражательного глушителя показан на рисунке ниже. При изменении поперечного сечения канала часть звуковых волн отражается в обратном направлении. Благодаря этому уровень шума за глушителем снижается. Изгибы и отводы воздуховодов, а также устанавливаемые в помещениях воздухораспределители, тоже отражают звук и, таким образом, выполняют функции глушителей.



Принцип работы реактивного глушителя

Еще одним способом снижения уровня шума является отвод звука за пределы системы. Стенки воздуховодов имеют ограниченную звукоизолирующую способность, поэтому звук в той или иной степени проходит через них наружу. Недостатком здесь является, конечно же, увеличение уровня шума в помещении, через которое проходит воздуховод.

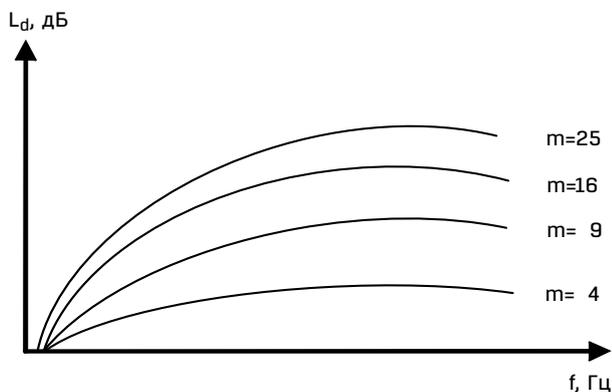
Ширина

Широкие глушители обладают двумя преимуществами. Прежде всего, чем шире глушитель, тем больше разница площади сечения воздуховода и глушителя.

А чем больше эта разница, тем большим будет отражение звука и, следовательно, снижение уровня шума.

На рисунке ниже показаны кривые, демонстрирующие данный эффект. Кривые соответствуют снижению уровня шума для разных отношений площади поперечного сечения глушителя и воздуховода.

Например, при $m = 4$ площадь поперечного сечения глушителя в четыре раза превышает площадь поперечного сечения воздуховода.



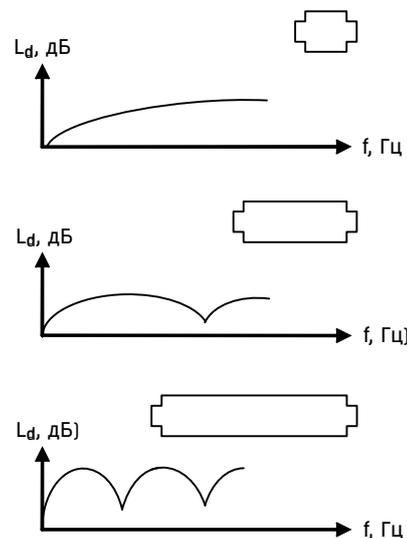
Снижение уровня шума L_d как функция частоты и отношения поперечных сечений глушителя и воздуховода. Параметр m представляет отношение площадей поперечного сечения глушителя A_d и воздуховода A_k , т.е. $m = A_d/A_k$.

Другим преимуществом широких глушителей является возможность разместить в них большее количество звукопоглощающего материала и таким образом увеличить звукопоглощение. В связи с вышесказанным при наличии в вентиляционной установке достаточного свободного пространства рекомендуется использовать максимально широкие глушители.

Длина

Увеличение длины глушителей делает возможным снижение уровня шума более низких частот. Недостатком длинных глушителей является увеличение количества точек резонанса на высоких частотах.

На рисунке ниже видно, как меняется снижение уровня шума в зависимости от частоты для трех глушителей разной длины.



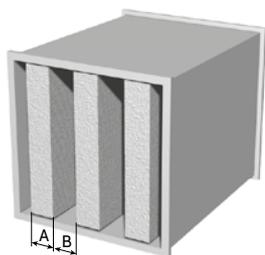
Увеличение длины глушителя позволяет снизить уровень шума L_d на высоких частотах, но создает точки резонанса.

Если необходимо заглушить низкие частоты, следует использовать глушитель значительной длины. Помимо всего сказанного, с увеличением длины глушителя, как и с увеличением его ширины, возрастает количество звукопоглощающего материала, который может быть в нем размещен и, следовательно, звукопоглощение.

Перепад давления на глушителе

Выбор глушителя — это всегда компромисс между снижением уровня шума и увеличением перепада давления. Чем более значительный перепад давления является допустимым, тем большим может быть снижение уровня шума. Особенно важно учитывать перепад давления при проектировании звукопоглощающих перегородок глушителя.

На рисунке ниже показан глушитель со звукопоглощающими перегородками. Важнейшей задачей является поиск удовлетворительного соотношения между шириной звукопоглощающих перегородок А и свободного пространства В, позволяющего обеспечить надлежащий расход воздуха через глушитель. Если звукопоглощающие перегородки чрезмерно широки, будет обеспечено большее снижение уровня шума, однако увеличатся перепад давления и собственный шум глушителя. Для уменьшения перепада давления перегородки сужаются навстречу потоку воздуха. Помимо этого, передние края перегородок обычно выполняются закругленными.



Глушитель прямоугольного сечения со звукопоглощающими перегородками.

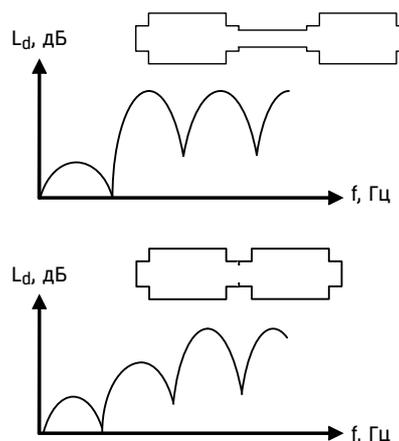
Собственный шум глушителя

Минимальный уровень шума, который может быть достигнут после глушителя, определяется уровнем собственного шума глушителя. Воздух, проходящий через глушитель, создает шум. Вне зависимости от уровня шума перед глушителем, минимальным возможным уровнем шума после глушителя является именно уровень, создаваемый воздухом в глушителе. Если скорость воздуха увеличивается, возрастает также и уровень собственного шума глушителя. В связи с производимым глушителями собственным шумом два установленных друг за другом глушителя не всегда обеспечивают большее снижение уровня шума, чем один глушитель. Уровень собственного шума глушителя зависит от качества монтажа его звукопоглощающих перегородок. Если у верхнего края перегородки появляется зазор, это может снизить эффективность работы глушителя и стать причиной появления свиста.

Место установки глушителя

Как правило, глушители должны устанавливаться максимально близко к источнику шума. Это позволяет увеличить разность между уровнем исходного шума и уровнем собственного шума глушителя. Таким образом, снижается вероятность того, что эффект глушителя

будет нивелирован его собственным шумом. Глушители следует располагать на некотором расстоянии от оборудования, создающего турбулентность, в частности, от вентиляторов. Для оптимальной работы глушителя проходящий через него поток воздуха должен быть однородным. Если источник турбулентности находится чрезмерно близко, поток воздуха будет неоднородным и эффективность работы глушителя снизится. Помимо этого, в случае чрезмерно неоднородного потока воздуха возрастет перепад давления на глушителе. Поэтому глушители не следует устанавливать непосредственно за вентиляторами, коленями, воздушными клапанами и другими компонентами, нарушающими однородность потока. При одновременном использовании двух глушителей их следует установить на достаточном расстоянии друг от друга. На рисунке ниже показано, как расстояние между глушителями влияет на снижение уровня шума. Если это расстояние недостаточно велико, прежде всего усиливается низкочастотный шум.



При чрезмерно близком расположении двух глушителей значение снижения уровня шума L_d уменьшается.

Методы измерений

Снижение уровня шума, указываемое производителями глушителя, должно измеряться согласно требованиям стандарта EN ISO 7235 или EN ISO 11691. В данных стандартах описываются методы присоединения к глушителю источника звука или источника потока воздуха, например, вентилятора. Снижение уровня шума рассчитывается как разность между уровнем шума в системе без глушителя и с глушителем. Для измерения уровня шума без глушителя он заменяется секцией воздуховода. Помимо снижения уровня шума, производитель обязан указать перепад давления, размеры, массу, использованные материалы, а также сведения о монтаже и техническом обслуживании глушителя.



Глушители предназначены для снижения уровня шума. Вне зависимости от того, установлен ли глушитель в вентиляционной установке или в воздуховоде, основные принципы его работы остаются неизменными.

Поэтому уровень шума может быть снижен либо путем превращения звуковой энергии в тепло, либо путем отведения ее туда, где она наносит меньший ущерб.

Поглощением звука называется процесс, при котором звуковая энергия превращается в тепло. При прохождении звуковой волны через звукопоглотитель движется материал звукопоглотителя (обычно имеющего волокнистую или пористую структуру). В результате трения энергия этого движения преобразуется в тепло.

Реактивные глушители снижают уровень шума путем отражения звука (отражательные глушители) или его гашения за счет эффекта резонанса (резонаторные глушители). При изменении поперечного сечения канала часть звуковых волн отражается в обратном направлении. Благодаря этому уровень шума за глушителем снижается.

Широкие глушители обладают двумя преимуществами.

- Чем больше разница между площадью сечения воздуховода и глушителя, тем большим будет отражение звука и, следовательно, снижение уровня шума.
- Чем шире глушитель, тем большее количество звукопоглощающего материала можно в нем разместить, увеличив за счет этого звукопоглощение.

Увеличение длины глушителей делает возможным снижение уровня шума более низких частот. Недостатком длинных глушителей является увеличение количества точек резонанса на высоких частотах.

Выбор глушителя — это всегда компромисс между снижением уровня шума и увеличением перепада давления. Если звукопоглощающие перегородки глушителя чрезмерно широки, будет обеспечено большее снижение уровня шума, однако увеличатся перепад давления и собственный шум глушителя. Минимальный уровень шума, который может быть достигнут после глушителя, определяется уровнем собственного шума глушителя. Воздух, проходящий через глушитель, создает шум.

