

Расчет систем вентиляции (квартиры, дома, офиса)

В этом разделе мы расскажем о том, как рассчитать приточную вентиляцию для объекта площадью до 300–400 м² — квартиры, небольшого офиса или коттеджа. Естественная вытяжная вентиляция на таких объектах обычно уже установлена на этапе строительства, поэтому рассчитывать ее не требуется. Следует отметить, что в квартирах и коттеджах вытяжная вентиляция обычно проектируется из расчета однократного воздухообмена, в то время как приточная обеспечивает, в среднем, двукратный воздухообмен. Это не является проблемой, поскольку часть приточного воздуха будет удаляться через неплотности в окнах и дверях, не создавая избыточной нагрузки на вытяжную систему. В нашей практике мы никогда не сталкивались с требованием службы эксплуатации многоквартирного здания ограничить производительность приточной системы вентиляции (в то же время установка вытяжных вентиляторов в каналы вытяжной вентиляции часто бывает запрещена).

Производительность по воздуху

Расчет системы вентиляции начинается с определения производительности по воздуху (воздухообмена), измеряемой в кубометрах в час. Для расчетов нам потребуется план объекта, где указаны наименования (назначения) и площади всех помещений.

Подавать свежий воздух требуется только в те помещения, где люди могут находиться длительное время: спальни, гостиные, кабинеты и т. п. В коридоры воздух не подается, а из кухни и санузлов удаляется через вытяжные каналы.

Таким образом, схема движения воздушных потоков будет выглядеть следующим образом: свежий воздух подается в жилые помещения, оттуда он (уже частично загрязненный) попадает в коридор, из коридора — в санузлы и на кухню, откуда удаляется через вытяжную вентиляцию, унося с собой неприятные запахи и загрязнители. Такая схема движения воздуха обеспечивает воздушный подпор «грязных» помещений, исключая возможность распространения неприятных запахов по квартире или коттеджу.

Для каждого жилого помещения определяется количество подаваемого воздуха. Расчет обычно ведется в соответствии со СНиП 41-01-2003 и МГСН 3.01.01. Поскольку СНиП задает более жесткие требования, то в расчетах мы будем ориентироваться на этот документ.

В нем говорится, что для жилых помещений без естественного проветривания (то есть там, где окна не открывают) расход воздуха должен составлять не менее 60 м³/ч на человека. Для спален иногда используют меньшее значение — 30 м³/ч на человека, поскольку в состоянии сна человек потребляет меньше кислорода (это допустимо по МГСН, а также по СНиП для помещений с естественным проветриванием).

При расчете учитываются только люди, находящиеся в помещении длительное время. Например, если у вас в гостиной пару раз в году собирается большая компания, то увеличивать производительность вентиляции из-за них не нужно.

После расчета воздухообмена по людям нам нужно рассчитать воздухообмен по кратности (этот параметр показывает, сколько раз в течение одного часа в помещении происходит полная смена воздуха). Чтобы воздух в помещении не застаивался, нужно обеспечить хотя бы однократный воздухообмен.

Таким образом, для определения требуемого расхода воздуха нам нужно рассчитать два значения воздухообмена: по количеству людей и по кратности и, после чего выбрать большее из этих двух значений:

Расчет воздухообмена по количеству людей:

$$L = N * L_{norm}, \text{ где}$$

- L — требуемая производительность приточной вентиляции, м³/ч;
- N — количество людей;
- L_{norm} — норма расхода воздуха на одного человека: в состоянии покоя (сна) — 30 м³/ч; типовое значение (по СНиП) — 60 м³/ч;

Расчет воздухообмена по кратности:

$$L = n * S * H, \text{ где}$$

- L — требуемая производительность приточной вентиляции, м³/ч;
- n — нормируемая кратность воздухообмена:
- для жилых помещений – от 1 до 2, для офисов – от 2 до 3;
- S — площадь помещения, м²;
- Н — высота помещения, м;

Рассчитав необходимый воздухообмен для каждого обслуживаемого помещения, и сложив полученные значения, мы узнаем общую производительность системы вентиляции.

Для справки типовые значения производительности вентиляционных систем:

- Для отдельных комнат и квартир — от 100 до 500 м³/ч;
- Для коттеджей — от 500 до 2000 м³/ч;
- Для офисов — от 1000 до 10000 м³/ч.

Расчет воздухораспределительной сети

После определения производительности вентиляции можно переходить к проектированию воздухораспределительной сети, которая состоит из воздуховодов, фасонных изделий (переходников, разветвителей, поворотов), дроссель-клапанов и распределителей воздуха (решеток или диффузоров). Расчет воздухораспределительной сети начинают с составления схемы воздуховодов. Схему составляют таким образом, чтобы при минимальной общей длине трассы система вентиляции могла подавать расчетное количество воздуха во все обслуживаемые помещения. Далее по этой схеме рассчитывают размеры воздуховодов и подбирают воздухораспределители.

Расчет размеров воздуховодов

Для расчета размеров (площади сечения) воздуховодов нам нужно знать объем воздуха, проходящий через воздуховод в единицу времени, а также максимально допустимую скорость воздуха в канале. При увеличении скорости воздуха размеры воздуховодов уменьшаются, но уровень шума и сопротивление сети возрастают. На практике для квартир и коттеджей скорость воздуха в воздуховодах ограничивают на уровне 3–4 м/с, поскольку при более высоких скоростях воздуха шум от его движения в воздуховодах и распределителях может стать слишком заметным.

Следует также учитывать, что использовать «тихие» низкоскоростные воздуховоды большого сечения не всегда возможно, поскольку их сложно разместить в запотолочном пространстве. Снизить высоту запотолочного пространства позволяет применение прямоугольных воздуховодов, которые при одинаковой площади сечения имеют меньшую высоту, чем круглые (например, круглый воздуховод диаметром 160 мм имеет такую же площадь сечения, как и прямоугольный размером 200×100 мм). В тоже время монтировать сеть из круглых гибких воздуховодов проще и быстрее.

Итак, расчетная площадь сечения воздуховода определяется по формуле:

$$S_c = L * 2,778 / V, \text{ где}$$

- S_c — расчетная площадь сечения воздуховода, см²;
- L — расход воздуха через воздуховод, м³/ч;
- V — скорость воздуха в воздуховоде, м/с;
- 2,778 — коэффициент для согласования различных размерностей (часы и секунды, метры и сантиметры).

Итоговый результат мы получаем в квадратных сантиметрах, поскольку в таких единицах измерения он более удобен для восприятия.

Фактическая площадь сечения воздуховода определяется по формуле:

$$S = \pi * D^2 / 400 \text{ — для круглых воздуховодов,}$$

$$S = A * B / 100 \text{ — для прямоугольных воздуховодов, где}$$

- S — фактическая площадь сечения воздуховода, см²;
- D — диаметр круглого воздуховода, мм;
- A и B — ширина и высота прямоугольного воздуховода, мм.

В таблице приведены данные по расходу воздуха в круглых и прямоугольных воздуховодах при разных скоростях движения воздуха.

Параметры воздуховодов			Расход воздуха (м ³ /ч) при скорости воздуха:				
Диаметр круглого воздуховода	Размеры прямоугольного воздуховода	Площадь сечения воздуховода	2 м/с	3 м/с	4 м/с	5 м/с	6 м/с
	80×90 мм	72 см ²	52	78	104	130	156
Ø 100 мм	63×125 мм	79 см ²	57	85	113	142	170
	63×140 мм	88 см ²	63	95	127	159	190
Ø 110 мм	90×100 мм	90 см ²	65	97	130	162	194
	80×140 мм	112 см ²	81	121	161	202	242
Ø 125 мм	100×125 мм	125 см ²	90	135	180	225	270
	100×140 мм	140 см ²	101	151	202	252	302
Ø 140 мм	125×125 мм	156 см ²	112	169	225	281	337
	90×200 мм	180 см ²	130	194	259	324	389
Ø 160 мм	100×200 мм	200 см ²	144	216	288	360	432
	90×250 мм	225 см ²	162	243	324	405	486
Ø 180 мм	160×160 мм	256 см ²	184	276	369	461	553
	90×315 мм	283 см ²	204	306	408	510	612
Ø 200 мм	100×315 мм	315 см ²	227	340	454	567	680
	100×355 мм	355 см ²	256	383	511	639	767
Ø 225 мм	160×250 мм	400 см ²	288	432	576	720	864
	125×355 мм	443 см ²	319	479	639	799	958
Ø 250 мм	125×400 мм	500 см ²	360	540	720	900	1080
	200×315 мм	630 см ²	454	680	907	1134	1361
Ø 300 мм	200×355 мм	710 см ²	511	767	1022	1278	1533
	160×450 мм	720 см ²	518	778	1037	1296	1555
Ø 315 мм	250×315 мм	787 см ²	567	850	1134	1417	1701
	250×355 мм	887 см ²	639	958	1278	1597	1917
Ø 350 мм	200×500 мм	1000 см ²	720	1080	1440	1800	2160
	250×450 мм	1125 см ²	810	1215	1620	2025	2430
Ø 400 мм	250×500 мм	1250 см ²	900	1350	1800	2250	2700

Расчет размеров воздуховода производится отдельно для каждой ветки, начиная с магистрального канала, к которому подключается вентустановка. Отметим, что скорость воздуха на ее выходе может достигать 6–8 м/с, поскольку размеры присоединительного фланца вентустановки ограничены размером ее корпуса (шум, возникающий внутри нее, гасится шумоглушителем). Для уменьшения скорости воздуха и снижения уровня шума размеры магистрального воздуховода часто выбирают больше размеров фланца вентустановки. В этом случае подключение магистрального воздуховода к вентустановке производится через переходник.

В бытовых системах вентиляции обычно используются круглые воздуховоды диаметром от 100 до 250 мм или прямоугольные эквивалентного сечения.

Выбор воздухораспределителей

Зная расход воздуха можно подобрать по каталогу воздухораспределители с учетом соотношения их размеров и уровня шума (площадь сечения воздухораспределителя, как правило, в 1,5–2 раза больше площади сечения воздуховода). Для примера рассмотрим параметры популярных воздухораспределительных решеток Арктос серий АМН, АДН, АМР, АДР:

A × B, мм	F ₀ , м ²	L _{WA} < 20 дБ(А), ΔP _n ≤ 1 Па						L _{WA} = 25 дБ(А)			
		L ₀ , м ³ /ч	дально- бойность, м при V _x , м/с		L ₀ , м ³ /ч	дально- бойность, м при V _x , м/с		L ₀ , м ³ /ч	ΔP _n , Па	дально- бойность, м при V _x , м/с	
			0,2	0,5		0,2	0,5			0,2	0,5
200 × 100	0,018	30	1,9	0,7	60	3,6	1,5	180	6	11	4,4
300 × 100	0,027	50	2,5	1,0	80	4,0	1,6	240	5	12	4,9
400 × 100	0,036	65	2,8	1,1	100	4,4	1,8	300	5	13	5,3
500 × 100	0,045	80	3,1	1,2	120	4,9	1,9	370	5	15	5,9
600 × 100	0,054	100	3,6	1,4	150	5,3	2,1	420	4	15	6,0
150 × 150	0,020	35	2,1	0,8	60	3,6	1,5	180	6	11	4,4
300 × 150	0,041	75	3,1	1,2	120	4,9	1,9	370	5	15	5,9
400 × 150	0,055	100	3,6	1,4	150	5,3	2,1	420	4	15	6,0
500 × 150	0,070	130	4,1	1,7	180	5,6	2,2	530	4	16	6,6
600 × 150	0,084	150	4,3	1,7	200	5,7	2,3	600	3	17	6,9
700 × 150	0,098	170	4,5	1,8	240	6,4	2,6	700	3	19	7,4
800 × 150	0,112	200	5,0	2,0	250	6,2	2,5	740	3	19	7,4
200 × 200	0,036	70	3,1	1,2	100	4,4	1,8	300	5	13	5,3

В каталоге указываются их размеры (колонка А х В) и площадь сечения (F₀), а также параметры при заданных расходах воздуха (колонки L₀). С увеличением расхода воздуха возрастает уровень шума (L_{WA}) и падение давления (ΔP_n), а также увеличивается дальнотбойность воздушной струи. В соответствующих колонках указывается расстояние от решетки, на котором скорость потока воздуха V_x будет равна 0,2 или 0,5 м/с. Для жилых помещений подбор решеток обычно ведется по колонкам с уровнем шума до 25 дБ(А), в офисах обычно допустим уровень шума до 35 дБ(А).

Для того, чтобы фактические параметры решетки соответствовали тем, что указаны в каталоге, необходимо обеспечить равномерное распределение воздуха по всей ее площади. Для этого желательно использовать камеру статического давления или адаптер с боковым подключением, в котором поток воздуха перед попаданием на решетку поворачивает под прямым углом.

В бытовых системах вентиляции обычно используют распределительные решетки размером от 100×100 мм до 400×200 мм или круглые диффузоры эквивалентного сечения.

Расчет сопротивления сети

В процессе движения воздуха по воздуховодам, адаптерам, распределителям и всем остальным элементам сети, он испытывает сопротивление движению. Чтобы преодолеть это сопротивление и сохранить требуемый расход воздуха, вентилятор должен создавать определенное давление, измеряемое в Паскалях (Па). Чем больше будет падение давления в воздухоораспределительной сети, тем ниже станет фактическая производительность вентилятора. Зависимость производительности вентилятора или вентустановки от сопротивления (полного давления) воздухопроводной сети задается в виде графика, который называется вентиляционная характеристика. Подробнее об этом параметре мы расскажем ниже.

Таким образом, для дальнейшего выбора приточной установки нам необходимо рассчитать сопротивление сети. Однако здесь нас поджидают трудности, поскольку точный расчет требует учета сопротивления каждого ее элемента. В проектном отделе этот расчет выполняется автоматически с помощью специализированного программного комплекса, такого как MagiCAD. Ручной же расчет весьма трудоемок и требует использования большого объема данных — графиков или таблиц сопротивления элементов сети в зависимости от скорости движения воздуха.

Для справки приведем типичные значения сопротивления воздухоораспределительной сети системы вентиляции на базе приточной установки при скорости воздуха в воздуховодах 3–4 м/с (без учета сопротивления фильтра тонкой очистки):

- 75–100 Па для квартир площадью от 50 до 150 м².
- 100–150 Па для коттеджей площадью от 150 до 350 м².

Сопrotивление сети слабо зависит от количества обслуживаемых помещений и определяется протяженностью и конфигурацией самого длинного пути от входа (воздухозаборной решетки) до выхода (воздухораспределителя). Отметим, что приведенные значения справедливы только для систем вентиляции на базе вентиляционной установки, но не наборной системы, поскольку нам не нужно учитывать падение давления на калорифере, фильтре грубой очистки, воздушном клапане и других элементах вентустановки (ее вентиляционная характеристика строится уже с учетом сопротивления всех этих элементов).

Мощность калорифера

После определения производительности вентиляции мы можем рассчитать требуемую мощность калорифера. Для этого нам понадобятся значения температуры воздуха на выходе системы и минимальной температуры наружного воздуха в холодный период года. Температура воздуха, поступающего в жилое помещение, должна быть не ниже +18°C. Минимальная температура наружного воздуха зависит от климатической зоны и для Москвы принимается равной -26°C. Таким образом, при включении калорифера на полную мощность, он должен нагревать поток воздуха на 44°C. Поскольку сильные морозы в Москве непродолжительны, можно использовать калорифер меньшей мощности, при условии, что система вентиляции имеет регулировку производительности: это позволит в холодный период поддерживать комфортную температуру воздуха за счет снижения скорости вентилятора.

Мощность калорифера рассчитывается по формуле:

$$P = \Delta T * L * C_v / 1000, \text{ где}$$

- P — мощность калорифера, кВт;
- ΔT — разность температур воздуха на выходе и входе калорифера, °C.
- Для Москвы $\Delta T=44^\circ\text{C}$, для других регионов — определяется по СНиП;
- L — производительность вентиляции, м³/ч.
- C_v — объемная теплоемкость воздуха, равная 0,336 Вт·ч/м³/°C. Этот параметр зависит от давления, влажности и температуры воздуха, но в расчетах мы этим пренебрегаем.

После расчета мощности калорифера нужно выбрать напряжение питания (для электрического калорифера): 220В / 1 фаза или 380В / 3 фазы. При мощности калорифера свыше 4–5 кВт желательно использовать 3-х фазное подключение.

Максимальный ток, потребляемый калорифером, можно рассчитать по формуле:

$$I = P / U, \text{ где}$$

- I — максимальный потребляемый ток, А;
- P — мощность калорифера, Вт;
- U — напряжение питания:
- 220В — для однофазного питания;
- 660В (3 × 220В) — для трехфазного питания.

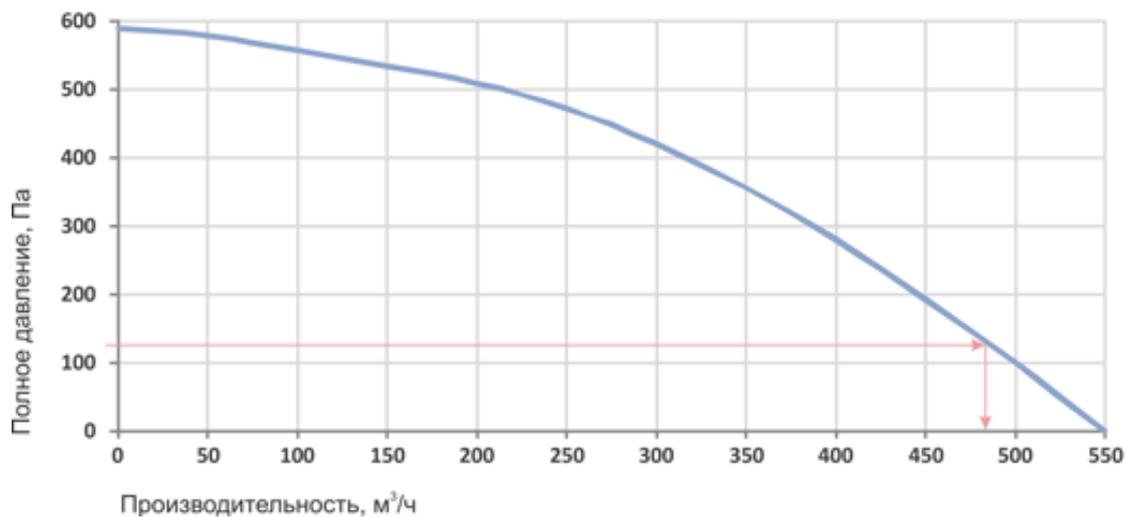
Типичные значения мощности калорифера — от 1 до 5 кВт для квартир и от 5 до 50 кВт для офисов и коттеджей. При высокой расчетной мощности лучше устанавливать водяной калорифер, который использует в качестве источника тепла воду из системы центрального или автономного отопления.

Выбор приточной установки

Для выбора приточной установки нам потребуются значения трех параметров: общей производительности, мощности калорифера и сопротивления воздухопроводной сети. Производительность и мощность калорифера мы уже рассчитали. Сопротивление сети при ручном расчете, можно принять равным типовому значению.

Для выбора подходящей модели нам нужно отобрать вентустановки, максимальная производительность которых несколько больше расчетного значения. После этого по вентиляционной характеристике мы определяем производительность системы при заданном сопротивлении сети. Если полученное значение будет несколько выше требуемой производительности вентиляционной системы, то выбранная модель нам подходит.

Для примера проверим, подойдет ли вентустановка с приведенной на рисунке вентхарактеристикой для коттеджа площадью 200 м².



Расчетное значение производительности — 450 м³/ч. Сопротивление сети примем равным 120 Па. Для определения фактической производительности мы должны провести горизонтальную линию от значения 120 Па, после чего от точки ее пересечения с графиком провести вниз вертикальную линию. Точка пересечения этой линии с осью «Производительность» и даст нам искомое значение — около 480 м³/ч, что немного больше расчетного значения. Таким образом, эта модель нам подходит.

Заметим, что многие современные вентиляторы имеют пологие вентхарактеристики. Это означает, что возможные ошибки в определении сопротивления сети почти не влияют на фактическую производительность системы вентиляции. Если бы мы в нашем примере ошиблись при определении сопротивления воздухопроводной сети на 50 Па (то есть фактическое сопротивление сети было бы не 120, а 180 Па), производительность системы упала бы всего на 20 м³/ч до 460 м³/ч, что не повлияло бы на результат нашего выбора.

После выбора приточной установки (или вентилятора, если используется наборная система) может оказаться, что ее фактическая производительность заметно больше расчетной, а предыдущая модель приточной установки не подходит, поскольку ее производительности недостаточно. В этом случае у нас есть несколько вариантов:

Оставить все как есть, при этом фактическая производительность вентиляции будет выше расчетной. Это приведет к повышенному расходу энергии, затрачиваемой на нагрев воздуха в холодное время года.

«Задушить» вентустановку с помощью балансировочных дроссель-клапанов, закрывая их до тех пор, пока расход воздуха в каждом помещении не снизится до расчетного уровня. Это также приведет к перерасходу энергии (хотя и не такому большому, как в первом варианте), поскольку вентилятор будет работать с избыточной нагрузкой, преодолевая повышенное сопротивление сети.

Не включать максимальную скорость. Это поможет в том случае, если вентустановка имеет 5–8 скоростей вентилятора (или плавную регулировку скорости). Однако большинство бюджетных вентустановок имеет только 3-х ступенчатую регулировку скорости, что, скорее всего, не позволит точно подобрать нужную производительность.

Снизить максимальную производительность приточной установки точно до заданного уровня. Это возможно в том случае, если автоматика вентустановки позволяет настраивать максимальную скорость вращения вентилятора.

Нужно ли ориентироваться на СНиП?

Во всех расчетах, которые мы проводили, использовались рекомендации СНиП и МГСН. Эта нормативная документация позволяет определить минимально допустимую производительность вентиляции, обеспечивающую комфортное пребывание людей в помещении. Другими словами требования СНиП направлены в первую очередь на минимизацию стоимости системы вентиляции и затрат на ее эксплуатацию, что актуально при проектировании вентсистем для административных и общественных зданий.

В квартирах и коттеджах ситуация иная, ведь вы проектируете вентиляцию для себя, а не для усредненного жителя и вас никто не заставляет придерживаться рекомендаций СНиП. По этой причине производительность системы может быть как выше расчетного значения (для большего комфорта), так и ниже (для уменьшения энергопотребления и стоимости системы). К тому же субъективное ощущение комфорта у всех разное: кому-то достаточно 30–40 м³/ч на человека, а для кого-то будет мало и 60 м³/ч.

Однако если вы не знаете, какой воздухообмен вам нужен для комфортного самочувствия, лучше придерживаться рекомендаций СНиП. Поскольку современные приточные установки позволяют регулировать производительность с пульта управления, вы сможете найти компромисс между комфортом и экономией уже в процессе эксплуатации системы вентиляции.