

Общие сведения о вентиляторах

Вентиляция - это регулируемый воздухообмен, осуществляемый с целью создания в помещениях жилых, общественных и промышленных зданий воздушной среды, благоприятной для здоровья и трудовой деятельности человека, а также для технологических целей.

Вентиляционные системы - совокупность технических устройств, обеспечивающих воздухообмен. Побудителем движения воздуха в таких системах является вентилятор. Вентилятор - сложное техническое устройство, преобразующее кинетическую энергию вращающегося колеса в кинетическую и потенциальную энергии перемещаемого объема воздуха. Существует большое многообразие типов вентиляторов, однако в вентсистемах используется всего несколько из них. От выбора типа вентилятора и соответствия поставленной задаче зависят его габариты, потребляемая мощность, технические характеристики, а также шум и некоторые другие свойства вентсистемы.

Типы вентиляторов, используемых в системах вентиляции

Вентиляторы – лопаточные машины, предназначенные для перемещения воздуха или других газов. Вентиляторы условно делятся по развиваемому давлению на вентиляторы:

- низкого давления – до 1000Па;
- среднего давления от 1000Па до 3000Па;
- высокого давления - свыше 3000Па.

Как правило, давление, развиваемое вентиляторами, работающими в вентиляционных системах, не превышает 2000Па. В системах вентиляции и кондиционирования используются следующие типы вентиляторов:

- осевые;
- радиальные;
- диаметральные.

Схемы осевых вентиляторов приведены на рис.1.1. В осевых вентиляторах поток воздуха входит и выходит по оси вращения колеса. Осевые вентиляторы могут состоять из одного колеса (рис. 1.1а), колеса и спрямляющего аппарата (рис.1.1б), входного направляющего аппарата и колеса (рис.1.1в), входного направляющего аппарата, колеса и спрямляющего аппарата (рис.1.1г). Электродвигатель может быть расположен как перед колесом (рис.1.1а), так и за колесом (рис.1.1б), причем аэродинамические характеристики вентиляторов, имеющих одинаковые колеса, будут при этом приблизительно одинаковыми.

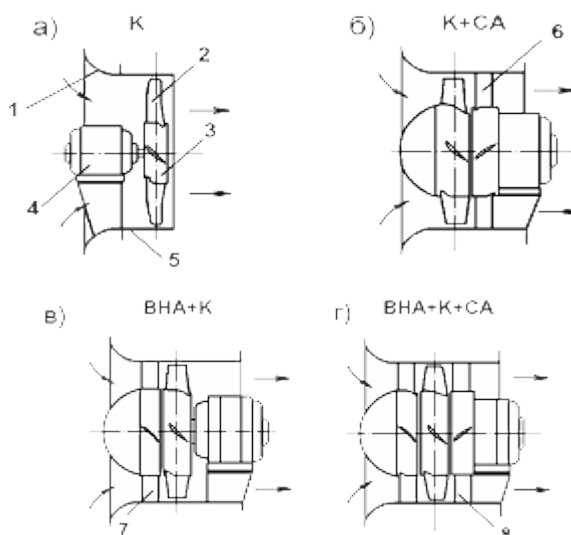


Рис.1.1 Схемы осевых вентиляторов:

а) К-колесо; б) К+СА -колесо и спрямляющий аппарат; в) ВНА+К –входной направляющий аппарат и колесо, г) ВНА+К+СА -входной направляющий аппарат, колесо и спрямляющий аппарат; 1-входной коллектор, 2-лопатки колеса, 3-втулка колеса, 4-электродвигатель, 5-корпус, 6,8-спрямляющий аппарат, 7-входной направляющий аппарат

Остаточная закрутка потока является источником потерь, кроме того может быть причиной дополнительных потерь в элементах, сопрягающих вентилятор с сетью на выходе. Для уменьшения закрутки за колесом используется спрямляющий аппарат. При равных частотах

вращения и диаметрах колес, осевые вентиляторы создают в 2-3 раза меньшее давление, но имеют большую производительность, чем радиальные вентиляторы, поэтому в вентиляционных системах они используются в основном для перемещения больших объемов воздуха – на вытяжке, для создания противодымного подпора и т. д.

Осевые вентиляторы могут быть одноступенчатыми, двухступенчатыми и многоступенчатыми. В многоступенчатом вентиляторе, созданном на базе нескольких одноступенчатых, происходит увеличение давления примерно пропорционально числу ступеней при прежней производительности. Существуют также схемы со встречным вращением и вентиляторы с меридиональным ускорением потока.

В радиальных колесах поток входит по оси вращения колеса, а выходит в радиальной плоскости. Спиральный корпус служит для преобразования потока на выходе из колеса и дополнительного повышения давления вентилятора. Наиболее широко применяются два типа радиальных колес: колеса с лопатками загнутыми назад и с лопатками загнутыми вперед. Радиальные вентиляторы развивают большее давление, по сравнению с осевыми вентиляторами, так как единице объема перемещаемого воздуха сообщается энергия при переходе от радиуса входа к радиусу выхода колеса.

Радиальный вентилятор имеет два входных отверстия и общее выходное и представляет как бы объединение двух зеркальных вентиляторов в спиральных корпусах. Такого типа вентиляторы имеют приблизительно удвоенную производительность (при том же давлении, что и единичный вентилятор). Многоступенчатые радиальные вентиляторы в системах вентиляции встречаются крайне редко. Среди рассматриваемых типов вентиляторов радиальные – наиболее используемые в вентиляционных системах.

В диаметральной вентиляторе поток входит в колесо в диаметральной направлении (перпендикулярно оси вращения колеса), и выходит также в диаметральной направлении. Угол между входом и выходом потока может быть разным, существуют также вентиляторы с различными углами выхода потока, вплоть до 180°. В диаметральных вентиляторах используются радиальные колеса с вперед загнутыми лопатками, близкие к тем, что используются в радиальных вентиляторах. Отличительной особенностью диаметральных вентиляторов является возможность увеличения длины колеса (осевой протяженности), что дает возможность увеличивать производительность вентилятора (при соответствующем увеличении мощности привода). Несмотря на очевидные компоновочные преимущества, диаметральные вентиляторы не нашли широкого применения в вентсистемах. Это связано с относительно малой аэродинамической эффективностью этих вентиляторов. В основном они используются в маломощных завесах, хотя известны попытки применения диаметральных вентиляторов в воздухоприточных установках.

Основные свойства вентилятора, как устройства предназначенного для перемещения воздуха, принято оценивать по его аэродинамическим параметрам: давлению, производительности и потребляемой мощности при нормальных атмосферных условиях, а также коэффициенту полезного действия (КПД).

Единицы измерения:

-давления вентилятора: статическое, полное, динамическое измеряются в Па (1 Па ~0,1 мм. вод. ст);

-производительность вентилятора измеряется в м3/час, м3/с;

-потребляемая мощность вентилятора измеряется в Вт, кВт.

Полное давление вентилятора равно разности полных давлений потока за вентилятором и перед ним:

$$P_v = P_{02} - P_{01};$$

Здесь: P01 - осредненное по входному сечению, P02 -осредненное по выходному сечению полное давление потока.

Статическое давление вентилятора Psv равно разности полного давления Pv и динамического давления вентилятора Pdv:

$$P_{sv} = P_v - P_{dv};$$

Динамическое давление вентилятора Pdv определяется по среднерасходной скорости Vвых-вент выхода потока из вентилятора:

$$P_{dv} = \rho V_{\text{вых-вент}}^2 / 2$$

Скорость выхода потока из вентилятора (один из способов осреднения):

$$V_{\text{вых-вент}} = Q / F_{\text{вых}};$$

где $F_{\text{вых}}$ - площадь поперечного сечения выхода потока из вентилятора; Q – производительность вентилятора.

Полный и статический КПД вентилятора:

$$\eta = P_v Q / N; \quad \eta_{st} = P_{sv} Q / N$$

где N - мощность, потребляемая вентилятором.

Нэл сеть – мощность, потребляемая вентилятором из электрической сети: $N_{\text{эл сеть}} = N / (\eta \text{ эл двиг})$,

где $\eta \text{ эл двиг}$ – КПД электродвигателя.

Безразмерные параметры вентиляторов

Геометрически подобные вентиляторы описываются безразмерными характеристиками (при автомодельности по числу Re), которая называется типовой. Типовая характеристика не зависит ни от диаметра вентилятора, ни от частоты вращения, ни от плотности воздуха (температуры). Типовая характеристика - это зависимость безразмерных величин коэффициентов давления ψ и мощности λ от коэффициента производительности φ или φ_a (для осевых вентиляторов):

-коэффициент производительности: $\varphi = Q / Fu$;

-коэффициент осевой скорости: $\varphi_a = \varphi(1 - v^2)$;

-коэффициент полного давления: $\psi = 2P_v / \rho u^2$;

-коэффициент мощности: $\lambda = 2N / \rho Fu^3$;

где $F = \pi D^2 / 4$ - площадь, ометаемая колесом вентилятора (для осевых и радиальных вентиляторов), m^2 ; D – диаметр колеса вентилятора, m ; $u = \pi D n / 60$ - окружная скорость конца лопаток, m/c ; n - частота вращения колеса вентилятора, $об/мин$; $v = d_{vt} / D$ – относительный диаметр втулки (только для осевых вентиляторов); ρ - плотность перемещаемого воздуха, $кг/м^3$. Переходя к безразмерным параметрам вентилятора:

-коэффициент полного давления: $\psi = \psi_s + \psi_{dv}$;

-коэффициент динамического давления: $\psi_{dv} = \varphi^2 (F / F_{\text{вых}})^2$; $\psi_{dv} = \varphi^2 a$ (для осевых вентиляторов);

-полный и статический КПД: $\eta = \varphi \psi / \lambda$; $\eta_s = \varphi \psi_s / \lambda$

Безразмерные характеристики вентиляторов позволяют сравнивать вентиляторы различных типов по нагруженности лопаточных аппаратов, получать размерные характеристики обратным пересчетом для любых значений частоты вращения, диаметров колес, температуры перемещаемого воздуха.

Вентиляторы имеют широкие диапазоны параметров: полное давление от десятков до нескольких тысяч Паскалей, производительность от нескольких кубических метров до тысяч кубических метров в секунду, мощность от одного Ватта до нескольких тысяч киловатт, а диаметры колес - от нескольких сантиметров до нескольких метров. Окружные скорости концов лопаток, как правило, не превышают 150 м/с. Несмотря на огромный диапазон размерных параметров, безразмерные параметры вентиляторов всех типов и размеров укладываются в область, ограниченную коэффициентом производительности $\varphi = 0 \dots 3$ и коэффициентом полного давления $\psi = 0 \dots 8$. Осевые вентиляторы являются самыми слабонапорными, но имеют наибольшие полные КПД среди рассматриваемых типов вентиляторов. Радиальные вентиляторы занимают промежуточную область по давлению и КПД. Диаметральные вентиляторы имеют самые большие коэффициенты давления ψ , достигающие значений $6 \dots 8$, так как потоку сообщается энергия дважды, при входе в колесо и при выходе из него, однако имеют самые малые значения полного КПД.

Регулирование вентиляторов

В ряде случаев в процессе работы необходимо изменять аэродинамические характеристики вентилятора. Регулирование вентиляторов (изменение аэродинамических параметров вентилятора) осуществляется следующими способами:

-лопаточным аппаратом;

-изменением частоты вращения колеса.

При регулировании лопаточным аппаратом изменяется безразмерная характеристика, а следовательно, и размерная характеристика вентилятора. При частотном регулировании безразмерная характеристика вентилятора и положение рабочего режима на ней не меняются, поэтому сохраняется и КПД вентилятора при новой частоте вращения. В ряде случаев, это может приводить к неэффективной работе вентилятора в данной сети. Регулирование аэродинамических характеристик осевых вентиляторов осуществляется поворотом лопаток

(закрылков) входного направляющего аппарата (подкрутка по и против вращения колеса), поворотом лопаток колеса (во время вращения или при остановленном вентиляторе). Регулирование лопаточным аппаратом может приводить как к увеличению (в пределах располагаемой мощности вентилятора), так и к уменьшению давления.

Радиальные вентиляторы регулируются входным направляющим аппаратом только в сторону снижения давления. Регулирование диаметрального вентилятора осуществляется изменением углов входа потока в вентилятор, внутренним направляющим аппаратом (ВНА) или различного рода вихреобразователями.

Регулирование изменением частоты вращения обычно осуществляется преобразователями напряжения или частотными приводами. В вентиляторах, имеющих шкиво-ременную передачу, регулирование осуществляется подбором шкивов. Регулирование изменением частоты вращения обычно осуществляется в сторону снижения давления вентилятора, так как электродвигатель обычно подбирается на мощность, соответствующую максимальным давлению и производительности.

Изменения параметров вентилятора при изменении частоты вращения определяются по следующим формулам:

-производительность $Q_i = Q \cdot n_i/n$;

-давление $P_i = P \cdot (n_i/n)^2$;

-мощность $N_i = N \cdot (n_i/n)^3$,

индекс i соответствует произвольному режиму по частоте вращения.

Аэродинамические характеристики вентиляторов

Аэродинамические характеристики вентилятора обычно включают в себя:

-кривую полного давления $P_v(Q)$;

-кривую мощности $N(Q)$ или полного КПД вентилятора $\eta(Q)$;

-кривую (либо шкалу) динамического давления вентилятора $P_{dv}(Q)$ или кривую статического давления вентилятора $P_{sv}(Q)$.

Если приведена кривая полного давления $P_v(Q)$, а статического не приведена, то статическое давление вентилятора определяется по формуле: $P_{sv} = P_v - P_{dv}$. В ряде случаев приводится только кривая статического давления вентилятора, например, для канальных вентиляторов в квадратных или прямоугольных корпусах, крышных радиальных вентиляторов. В этом случае полное давление близко к статическому давлению и за полное можно принимать статическое давление.

При подборе вентилятора необходимо руководствоваться следующим: зона рабочих режимов вентилятора должна находиться в зоне максимальной эффективности вентилятора и быть за пределами срывного режима вентилятора.

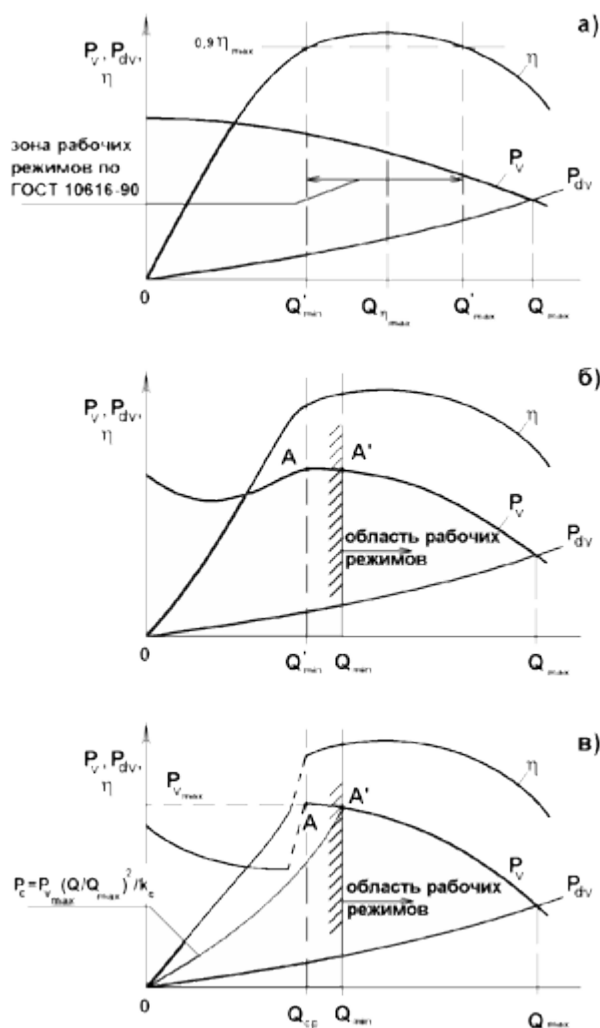


Рис.1.2 Виды аэродинамических характеристик вентиляторов:

Существуют три основных вида аэродинамических характеристик вентиляторов (рис.1.2):

- ниспадающая кривая полного давления (рис.1.2а);
- кривая полного давления с обратным склоном (рис.1.2б);
- кривая полного давления с разрывом характеристики (рис.1.2в).

В соответствии с ГОСТ10616-90 рабочая зона аэродинамической характеристики вентилятора должна быть ограничена диапазоном производительностей, в котором полный КПД вентилятора составляет 0,9 от максимального КПД (рис. 1.2а). Именно в таком виде приведены аэродинамические характеристики вентиляторов в каталогах большинства производителей вентиляторов. Однако, в этом случае теряются режимы максимальной производительности, при которых возможна работа вентилятора, хотя и с меньшей эффективностью.

В каталогах некоторых западных, а в последнее время в каталогах отечественных, производителей приводится кривая полного давления $P_v(Q)$ от режима $Q=0$, до режима максимальной производительности Q_{max} ($P_{sv}=0$). Если не приведены ни кривая мощности $N(Q)$, ни полного (статического) КПД $\eta(Q)$, то выбрать рабочую зону крайне затруднительно. В этом случае, для оценки, можно принимать, что режим максимального полного КПД имеет место примерно на 2/3 максимальной производительности вентилятора Q_{max} . Коэффициент запаса k_c можно принимать $k_c = 1,25 \dots 1,5$ (большие значения, если срыв оказывает большее силовое воздействие на конструкцию вентилятора).

При подборе вентиляторов (радиальных, осевых) по аэродинамическим характеристикам, приведенным в каталогах, необходимо обращать внимание на следующее:

- а) является ли указанная в характеристиках мощность, потребляемой вентилятором, или же это мощность, потребляемая электродвигателем вентилятора из сети;
- б) имеет ли электродвигатель, комплектующий вентилятор, запас мощности на пусковые токи, низкие температуры перемещаемой среды.

Эти параметры определяют эффективность вентилятора, его аэродинамические характеристики и работоспособность электродвигателя при низких температурах перемещаемого воздуха. Например, если электродвигатель не имеет запаса мощности (канальные вентиляторы с внешним ротором), прямой пересчет давления на пониженную температуру может не дать правильных результатов, так как из-за увеличения потребляемой мощности электродвигатель может «сбросить» обороты.

При анализе аэродинамических характеристик осевых вентиляторов необходимо иметь в виду следующее обстоятельство. В отечественной практике в ряде случаев, например, когда электродвигатель расположен перед колесом, а втулка колеса выходит за пределы корпуса, динамическое давление подсчитывается по скорости выхода потока, определенной по ометаемой лопатками площади (полная площадь, определенная по диаметру колеса, за исключением площади, занимаемой втулкой колеса). В западных каталогах динамическое давление осевых вентиляторов определяется по полной площади, то есть по площади, ометаемой колесом.

Разница в статических давлениях, определенных по этим двум методам, начинает заметно сказываться при относительном диаметре втулки более $v \geq 0,4$ (отношение диаметра втулки к диаметру вентилятора). Если не учитывать этого обстоятельства, то подобранный вентилятор может не дать ожидаемого расхода в данной сети.

Особый интерес представляют аэродинамические характеристики, приведенные в технических условиях на радиальные вентиляторы в спиральном корпусе и, соответственно, в каталогах большинства их производителей. Оказалось, что у проектантов не всегда существует понимание в их трактовке. Рассмотрим это на примере характеристики вентиляторов типа ВЦ-14-46 (рис.1.3). Масштаб графиков - логарифмический, кривые полного давления вентилятора $P_v(Q)$ обозначены жирными линиями. Здесь же приведена серия ниспадающих кривых, пересекающих кривые $P_v(Q)$. Эти кривые, зачастую ошибочно, называют кривыми мощности (иногда их называют кривыми равной мощности). На каждой такой кривой приведена установочная мощность электродвигателя с запасом на пусковые токи и отрицательную температуру. На самом деле, это кривые полного давления $P_v'(Q)$, которое имел бы этот вентилятор, если бы он работал с переменной частотой вращения, но при постоянной мощности: в левой части от точки пересечения с реальной кривой $P_v(Q)$ - с повышенной частотой относительно номинала, а правее точки пересечения - с пониженной частотой. Из всего вышесказанного следует понимать только одно: в левой части, до пересечения мнимой кривой с реальной, электродвигатель работает с запасом по мощности, а в правой части перегружен и при длительной работе может выйти из

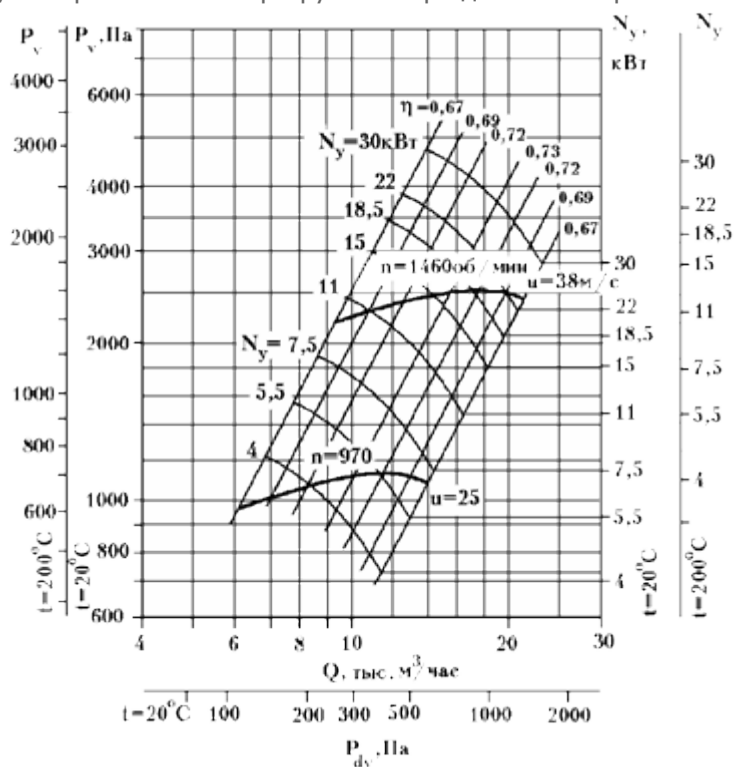


Рис. 1.3 Аэродинамическая характеристика вентиляторов типа ВЦ-14-46

РЕЖИМЫ НЕУСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ РАДИАЛЬНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

На практике встречаются ситуации, когда установленный в вентсистему вентилятор создает повышенный шум и вибрации, а в ряде случаев наступает помпаж, при котором производительность и давление меняются довольно значительными скачками во времени. Причина может заключаться либо в том, что вентилятор подобран неправильно, либо в том, что реальная сеть не соответствует предварительному расчету, исходя из которого был подобран вентилятор. В этом случае вентилятор работает в режиме неустойчивой работы. Что это за режимы и в чем причины их возникновения?

Типовые аэродинамические характеристики радиальных вентиляторов со спиральным корпусом с вперед и назад загнутыми лопатками приведены на рис.1.4. В каталогах производителей вентиляторов часто приводят только рабочую область характеристики, которая на рисунке выделена жирной линией, а в ряде случаев показывают всю характеристику, на которой выделяют рабочую область. Под рабочей областью понимается та часть аэродинамической характеристики, в пределах которой полный КПД вентилятора не менее 0,9 от его максимального значения.

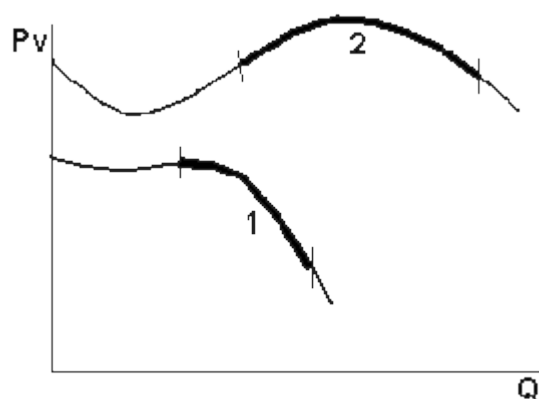


Рис. 1.4. Типовые аэродинамические характеристики радиальных вентиляторов: 1) назад загнутые лопатки; 2) вперед загнутые лопатки.

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ВЕНТИЛЯТОРОВ

В практике построения вентсистем зачастую используют совместную работу двух или нескольких вентиляторов, которые объединяют последовательно или параллельно. Ниже приведены основные принципы построения совместных характеристик и приведены некоторые особенности совместной работы вентиляторов.

Последовательное соединение вентиляторов.

В ряде случаев, для увеличения производительности в сети с большим сопротивлением, вместо замены вентилятора на больший типоразмер, целесообразно установить дополнительный вентилятор. В этом случае вентиляторы работают последовательно на единую сеть. Обычно последовательно включают в работу осевые вентиляторы, имеющие относительно небольшие давления. В этом случае это многоступенчатый вентилятор с одинаковыми рабочими колесами, между которыми установлены спрямляющие аппараты для раскручивания потока до осевого направления перед последующим колесом. Известны случаи последовательной работы канальных вентиляторов. Исключительно редко используют последовательную работу радиальных вентиляторов со спиральным корпусом из-за сложности компоновки. При последовательной работе двух вентиляторов, они имеют одинаковую производительность. Чтобы получить суммарную характеристику системы из двух вентиляторов, необходимо сложить их давления (ординаты) при фиксированной производительности. Для упрощения анализа совместной работы вентиляторов, в дальнейшем не учитываем увеличения сопротивления сети при установке второго вентилятора. Аэродинамическая характеристика суммарной работы двух одинаковых вентиляторов приведена на рис.1.5. Оба вентилятора имеют производительность Q_p , рабочим режимом каждого из вентиляторов является точка А, а системы из двух вентиляторов - точка В, давление в которой равно сумме давлений двух вентиляторов.

Рассмотрим совместную работу двух вентиляторов, которые имеют различные аэродинамические характеристики (рис.1.6а). Вентилятор 2 является «основным», а вентилятор 1 - «дополнительным», служащим для увеличения производительности «основного» вентилятора. Режимом совместной работы вентиляторов является точка С. Рабочим режимом «основного» вентилятора является точка В, а «дополнительного» - точка А, при этом каждый из вентиляторов имеет производительность Q_p . Если бы «основной» вентилятор работал один, то его рабочим режимом была бы точка Д, а производительность вентилятора - Q_d . За счет установки «дополнительного» вентилятора производительность была увеличена на величину $Q_p - Q_d$. Как видно, если производительность «основного» вентилятора при работе в данной сети Q_d меньше максимальной производительности «дополнительного» вентилятора Q_{1max} , то установка «дополнительного» вентилятора приводит к увеличению производительности.

Рассмотрим случай неудачного выбора «дополнительного» вентилятора, максимальная производительность которого Q_{1max} меньше производительности «основного» вентилятора Q_d при его одиночной работе (рис.1.20в). Режимом совместной работы вентиляторов является точка С. Рабочим режимом «основного» вентилятора является точка В, а «дополнительного» - точка А, каждый из вентиляторов имеет производительность Q_p . Если бы «основной» вентилятор работал один, то его рабочим режимом была бы точка Д, а производительность вентилятора - Q_d . «Дополнительный» вентилятор в этом случае работает в «турбинном» («флюгерном») режиме и является аэродинамическим сопротивлением для основного вентилятора. Это приводит к тому, что производительность основного вентилятора при установке дополнительного уменьшилась на величину $Q_d - Q_p$. Но при этом необходимо помнить, что кроме уменьшения производительности основного вентилятора, «дополнительный» вентилятор **потребляет соответствующую мощность!**

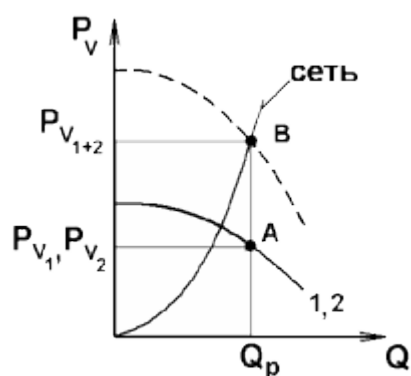


Рис. 1.5. Последовательная работа двух одинаковых вентиляторов: 1,2-характеристики «дополнительного» и «основного» вентиляторов, 3-характеристика совместной работы двух вентиляторов

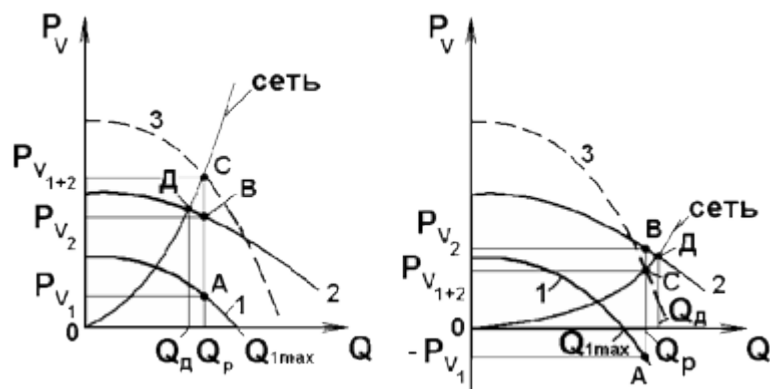


Рис. 1.6. Последовательная работа двух вентиляторов с различными характеристиками; 1,2-характеристики «дополнительного» и «основного» вентиляторов, 3-характеристика совместной работы двух вентиляторов

Последовательная работа вентиляторов с разной производительностью (основной вентилятор и вентиляторы - доводчики)

Если сеть имеет длинные ответвления или тупиковую ветвь с небольшой производительностью, то, в ряде случаев, «основной» вентилятор целесообразно подбирать на заданную суммарную производительность, но меньшее давление (без учета сопротивления ответвлений), а в ответвления последовательно устанавливать вентиляторы-доводчики. Особенностью работы вентиляторов доводчиков является то, что они имеют существенно меньшую производительность, чем «основной» вентилятор. Перед вентилятором - доводчиком рекомендуется иметь некоторый избыток давления 50...100Па, чтобы избежать обратных токов в предыдущих воздуховыпускных устройствах. На рис. 1.7 показан пример сети с вентиляторами - доводчиками. «Основной» вентилятор 1 имеет производительность Q_1 и полное давление P_{V1} , равное сопротивлению первого участка $\Sigma \Delta P_1$ плюс избыточное давление (полное) перед первым вентилятором доводчиком P_2^* . Первый вентилятор доводчик имеет производительность $Q_2 = Q_1 - Q_{B1}$ (здесь Q_{B1} – расход через первые воздуховыпускные решетки). Полное давление первого вентилятора - доводчика равно $P_{V2} = \Sigma \Delta P_2 + (P_3^* - P_2^*)$, то есть равно потерям в сети 2 плюс разница полных давлений за и перед вентилятором - доводчиком (в потери входит динамическое давление потока на выходе из выпускных решеток). Если вентилятор - доводчик один в системе $P_3^* = 0$, то его давление равно $P_{V2} = \Sigma \Delta P_2 - P_2^*$. Если подпор перед вентиляторами – доводчиками принимается одинаковым, то давление вентилятора доводчика равно потерям в сети 2, то есть $P_{V2} = \Sigma \Delta P_2$.

Характеристика первого вентилятора – доводчика приведена на рис. 1.7. Если в системе несколько вентиляторов - доводчиков с одинаковым избыточным давлением, то рабочим режимом первого вентилятора – доводчика является точка В. Если вентилятор - доводчик установлен один, то его рабочим режимом является точка А, являющаяся точкой пересечения характеристики вентилятора и сети с учетом избыточного давления перед вентилятором. В ряде случаев, неучет избыточного давления может привести к завышению производительности вентилятора - доводчика, которое может быть компенсировано при настройке вентсистемы.

В заключение анализа последовательной работы вентиляторов необходимо обратить внимание на одно важное обстоятельство: какого бы типа ни были вентиляторы, второй вентилятор не рекомендуется ставить непосредственно за первым, поскольку на выходе вентилятора поток всегда имеет пространственную неоднородность и нестационарность на любых режимах работы. Например, поток на выходе из канального вентилятора с круглым корпусом или осевого вентилятора без спрямляющего аппарата всегда имеет некоторую остаточную закрутку; течение на выходе канального вентилятора с прямоугольным корпусом всегда имеет пространственную неравномерность, поскольку потоком занято не все выходное сечение и т.д. Для исключения влияния предыдущего на последующий вентилятор необходимо, чтобы перед ним был отрезок прямого воздуховода длиной в несколько гидравлических диаметров для сглаживания пространственной и временной неоднородности потока.

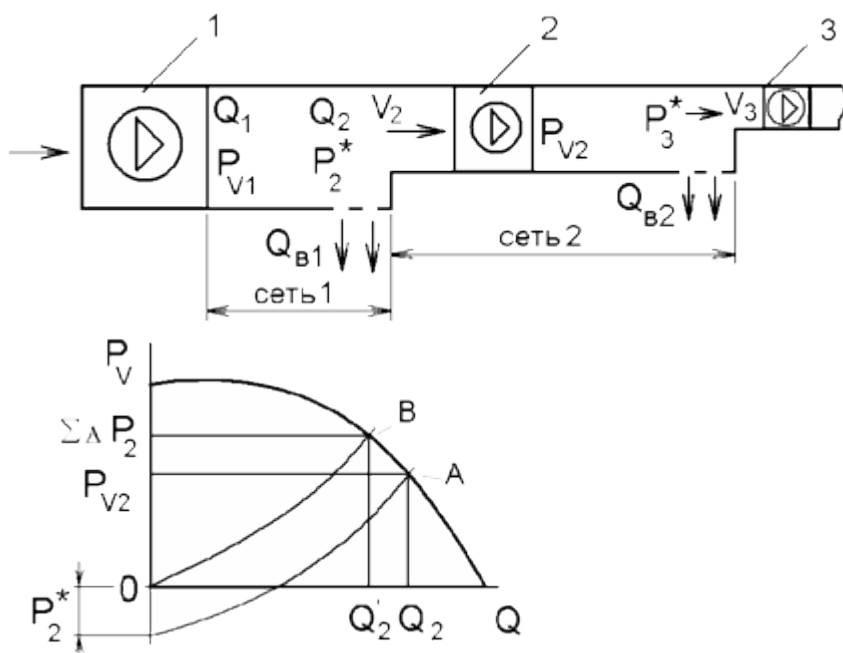


Рис. 1.7. Работа вентилятора- доводчика в сети: 1-основной вентилятор, 2, 3 - вентилятор –доводчик; Q_2, Q_2' – производительность вентилятора доводчика с учетом подпора и без

Параллельная работа вентиляторов

Параллельную установку вентиляторов используют в случаях когда: необходимо увеличить производительность в сети; необходимо иметь разную производительность, в зависимости от сезона работы; для эффективного регулирования производительности в ветвях вентсистемы и т.д.

Чтобы получить суммарную характеристику системы из двух вентиляторов, необходимо сложить их производительности (ординаты) при фиксированном давлении. При анализе параллельной работы вентиляторов, как и в первом случае не учитываем увеличения сопротивления сети при установке «дополнительного» вентилятора.

Аэродинамическая характеристика двух одинаковых параллельно работающих вентиляторов приведена на рис.1.8. Рабочим режимом каждого из вентиляторов является точка А, а системы из двух вентиляторов - точка В. Вентиляторы имеют равные производительности Q_1 и Q_2 , а суммарная производительность системы равна их удвоенной производительности Q_{1+2} .

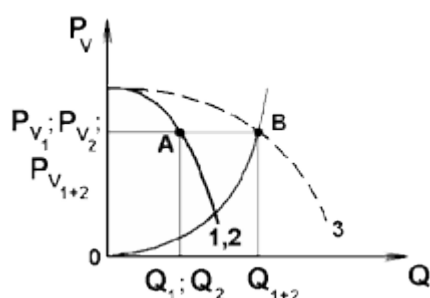


Рис.1.8. Параллельная работа двух одинаковых вентиляторов; 1,2-характеристики «дополнительного» и «основного» вентиляторов, 3-характеристика совместной работы двух вентиляторов

Рассмотрим совместную работу двух различных вентиляторов (рис. 1.9), один из которых является «основным» вентилятором, а другой - «дополнительным» вентилятором, установленным, например, для увеличения производительности «основного». Для построения суммарной аэродинамической характеристики необходимо иметь характеристику «дополнительного» вентилятора в 4 квадранте (режим обратного течения через вентилятор). Теоретическая кривая совместной работы, полученная сложением производительностей двух вентиляторов, имеет особый начальный участок E-F, на котором максимальное давление «дополнительного» вентилятора меньше чем у основного. Существует два режима совместной параллельной работы вентиляторов, которые определяются сопротивлением сети. Рассмотрим случай, когда сопротивление сети не превышает максимальное давление «дополнительного» вентилятора (рис.1.9а). Режимом совместной работы вентиляторов является точка С, рабочим режимом «основного» вентилятора является точка В, а «дополнительного» вентилятора - точка А. Если бы «основной» вентилятор работал один, то его режимом была бы точка Д, а производительность – Q_d . За счет установки «дополнительного» вентилятора производительность при совместной работе была увеличена на величину $Q_{1+2}-Q_d$. Такой режим характеризуется устойчивой параллельной работой двух вентиляторов.

Рассмотрим случай неудачного выбора «дополнительного» вентилятора, при котором сопротивление сети превышает его максимальное давление (рис. 1.9б). Теоретически, режимом совместной работы двух вентиляторов является точка С, совместная производительность двух вентиляторов - Q_{1+2} . Рабочим режимом «основного» вентилятора – является точка В, а рабочим режимом «дополнительного» точка А, причем через «дополнительный» вентилятор в режиме противодавления идет отрицательный расход $-Q_1$ (знак минус!) снижающий общую производительность системы из двух вентиляторов. Суммарная производительность системы Q_{1+2} меньше производительности одиночно работающего «основного» вентилятора Q_d . В действительности же, и «основной» и «дополнительный» вентиляторы работают в нестационарном режиме. Через «дополнительный» вентилятор имеют место нестационарные во времени (периодические) прорывы воздуха, сопротивление сети периодически изменяется, что приводит также к неустойчивой работе и «основного» вентилятора (особенно если он работает в

области срывных режимов). При этом «дополнительный» вентилятор **потребляет определенную мощность!** Необходимо всячески избегать такие режимы параллельной работы вентиляторов, так как увеличенная нагрузка и ее периодические изменения могут привести к сгоранию электродвигателя «дополнительного» вентилятора. В крайнем случае, вход или выход «дополнительного» вентилятора необходимо перекрывать клапаном. При параллельной работе двух вентиляторов имеет значение, как объединены их входы и выходы и как используется скоростной напор в каналах перед и после вентиляторов.

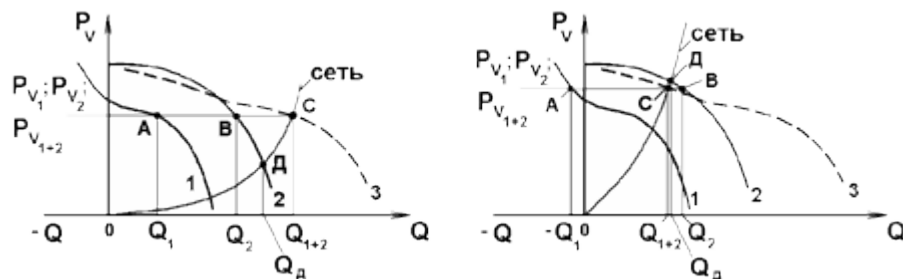


Рис.1.9. Параллельная работа двух различных вентиляторов: 1-«дополнительный» вентилятор; 2-«основной» вентилятор; 3-суммарная характеристика

От этого может зависеть уровень неустойчивости выбранного режима. Например, если перед вентиляторами установлен тройник с ответвлениями под прямыми углами (рис. 1.10а), то в таком тройнике, кроме потери скоростного напора, наблюдается интенсивное вихреобразование, которое может повлиять на работу вентиляторов и понизить порог устойчивой работы при параллельном соединении. В этом смысле тройник (рис.1.10б) предпочтительнее. То же самое можно сказать и об объединяющем тройнике на выходе вентиляторов. Выше были рассмотрены режимы параллельной работы вентиляторов с монотонно падающими кривыми зависимости давления от производительности. Это характерно, например, для радиальных вентиляторов с загнутыми назад лопатками или для ряда слабонагруженных осевых вентиляторов. Для таких вентиляторов характерны не сильно выраженные зоны неустойчивой работы в области малых производительностей и не очень интенсивные колебания аэродинамических параметров в этих областях. Радиальные вентиляторы с барабанными колесами (с вперед загнутыми лопатками) имеют провал характеристики в зоне малых производительностей, некоторые схемы высоконагруженных осевых вентиляторов имеют разрыв характеристик с сильно развитой неустойчивостью течения. Такие режимы являются нежелательными, их следует избегать, особенно непредсказуемые последствия (по колебаниям давления и неоднозначности положения рабочей точки) могут возникнуть при параллельной работе таких вентиляторов.

Примерами неудачной параллельной работы с объединенным входом является, например, работа нескольких приточных установок различной производительности с общей «зажатой» шахтой; а неудачной работы с объединенным выходом - является работа оконного вентилятора на нагнетание в помещение с организованным притоком, но с несбалансированной вытяжкой и т.д.

Интересно рассмотреть некоторые особенности работы радиального вентилятора двустороннего всасывания, который является примером параллельной работы двух одинаковых вентиляторов с объединенным входом и выходом. Теоретически производительность вентилятора равна удвоенной производительности, каждого входа (см. рис.1.8). В действительности у вентиляторов двустороннего всасывания, как правило, используется шкиво-ременная передача, подходящая к валу рабочего колеса со стороны одного из всасывающих отверстий. Поэтому оно загромождено концом выходом вала со шкивом и, кроме того, вращение шкива обеспечивает подкрутку потока на входе в вентилятор по вращению и эта сторона вентилятора работает хуже, чем вторая, со свободным входом потока. Таким образом, в ряде случаев, вентилятор с двусторонним входом необходимо рассматривать как параллельную работу двух вентиляторов с разными характеристиками.

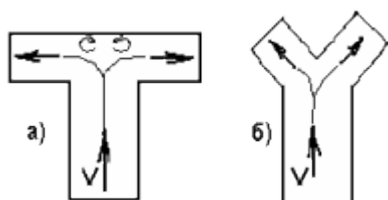


Рис. 1.10. Тройник на входе/выходе параллельного соединения вентиляторов: а) ответвления под прямым углом; б) ответвления под острым углом.

Перечень однотипных вентиляторов

Тип	Обозначения	
Радиальные		
С вперёд загнутыми лопатками	ВР 280-46 , ВЦ 14-46 , ВР 15-45 , ВР 300-45 ВЦ 12-49 , ВЦ 9-55 , ВР 12-26	
С назад загнутыми лопатками	ВР 80-70 , ВЦ 4-70 , ВЦ 4-75 , ВР 80-75 , ВР 86-77 , ВР 80-76 , ВЦ 4-76	
Высокого давления	ВР 132-30 , ВВД , ВР 6-28 , ВЦ 6-20 , ВР 6-27 ВР 7-20 , ВЦ 5-35 , ВЦ 5-45 , ВЦ 5-50 , АВД м , ВР 140-15 , ВР 6-13 , ВР 125-28 , ВЦ 6-28 , ВР 240-26 , ВР 120-28	
	ВРП 122-45 , ВРП 122-40 , ВРП 122-35 , ВРП 122-30 , ЦП 7-40 , ВЦП 6-45 , ВЦП 5-45 ВР 100-45 , ВРП 115-45	
	ВКР , ВКРМ , ВКРС , ВКРЦ , ВКР-Иновент Фавей , ВРКШ	
Осевые		
	ВО 13-284 , ВО 06-300 , ВО 06-290 , ВО 2,3-130 , ВО 12-330 , ВО 14-320 , ВО 25-188 , ВОП , ВО , ВО 1,1-200 , Аксипал , ВО 12-285 , ВО 12-303 , ВО 40-150	
	ВКРО , Аксипал-крышный	
	Канальные	
	В квадратном корпусе	Унивент , ВРКК
В прямоугольном корпусе	Унивент-Е , ВРПП , ВРПВ , ВРПН-Н , ВРПД	
В круглом корпусе	ВКК	
Вентиляторы дымоудаления		
Радиальные	ВР 280-46 ДУ , ВР 80-70 ДУ , ВР 80-75 ДУ , ВЦ 14-46 ДУ	
Крышные	ВКР ДУ , ВКРМ ДУ , ВКРС ДУ , ВРКВ ДУ ВРКН ДУ , ВКРН Ф ДУ , ВКРВ ДУ , ВКРВ 2x ДУ , ВО 21-210К ДУ , ВРКВ ДУ	
	ВО 13-284 ДУ , ВОД , ВО 21-210 ДУ	

Вентиляторы для градирен и аппаратов воздушного охлаждения	
	ВГ , 1 ВГ , 2 ВГ , 3 ВГ , 4 ВГ , 5 ВГ , 6 ВГ , Нема , АВО , АВГ , АВЗ , Тайфун
Дымососы и вентиляторы дутьевые	
	ДН , Д , ВДН , ВД

В данной статье использованы материалы следующих изданий:

1. Центробежные вентиляторы. Под ред. Т.С. Соломаховой. М., Машиностроение. 1975
2. И.В.Брусиловский. Аэродинамика осевых вентиляторов. М., Машиностроение. 1984
3. Проектирование и эксплуатация центробежных и осевых вентиляторов. Москва, ГОСГОРТЕХИЗДАТ. 1959
4. Центробежные вентиляторы. Под ред. Т.С.Соломаховой. М., «Машиностроение», 1975