

Министерство образования Российской Федерации
Дальневосточный государственный технический университет
(ДВПИ им. В. В. Куйбышева)

И.Г. Ивановский

ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ

Рекомендовано Дальневосточным региональным учебно-методическим центром в качестве учебного пособия для студентов специальностей 090200 « Подземная разработка месторождений полезных ископаемых», 090400 « Шахтное и подземное строительство» вузов региона.

Владивосток
2003

УДК: 622.4.001.24 (075.8)

ББК: 33.18

И 221

Ивановский И.Г. **Шахтные вентиляторы:** Учеб. пособие.— Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. — 196 с. илл. 86, табл. 7

Приведены сведения о конструкциях шахтных вентиляторов, их рабочих параметрах и характеристиках, способах регулирования их рабочих режимов, о видах приводов вентиляторов, устройстве главных вентиляционных установок.

Рассмотрены вопросы использования одиночного вентилятора и совместной работы вентиляторов на шахтную сеть, вопросы выбора и регулирования вентиляторов для обслуживания вентиляционной сети.

Учебное пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся горным специальностям, может быть использовано работниками горных предприятий при решении практических вопросов.

Рецензенты: Кафедра Безопасности жизнедеятельности ЧГТУ (д-р техн. наук, проф. Е. Т. Воронов); ОАО "ДальвостНИИ-проектуголь" (канд. техн. наук И.В. Садардинов); В.Ф. Мороз д-р техн. наук

Учебное пособие печатается с оригинал-макета, подготовленного автором.

© Ивановский И.Г. , 2003

© ДВГТУ, 2003

Введение

Атмосфера подземных горных выработок шахт в силу ограниченного их объема легко насыщается различными вредностями техногенного и (или) природного характера. Превышение допустимых концентраций вредностей опасно для здоровья и жизни работающих в выработках и ограничивает возможности проведения производственных процессов. Основное направление борьбы с вредностями в подземных горных выработках – их разжижение подаваемым в выработки свежим воздухом до допустимых концентраций.

Современное горное предприятие немислимо без принудительной вентиляции. Прекращение проветривания влечет за собой остановку всего технологического комплекса шахты или рудника, к выводу людей на поверхность, прекращению работы всех машин и механизмов. От надежной, безотказной работы системы проветривания полностью зависит безопасность, а зачастую и жизнь людей, работающих в шахте.

Возникновение движения воздуха в некотором объеме связано с наличием в этом объеме зон, обладающих более высоким уровнем энергии по сравнению с уровнем, необходимым для состояния покоя. Воздух движется от зоны с большим энергетическим уровнем к зоне с меньшим уровнем.

Для формирования зон с различными энергетическими уровнями необходимы силы. По существу интенсивность движения зависит от наличия и уровня этих сил.

Из большого перечня таких сил, имеющих место быть в шахтных условиях, имеет смысл выделить и рассматривать основные – силы, появляющиеся при работе вентиляторов, и силы,

связанные с законом гравитации. К последним относят естественную тягу и силы, появляющиеся при движении достаточно больших масс воды и полезного ископаемого в наклонных выработках.

В связи с необходимостью наличия в шахтных условиях надежного, необходимой мощности и управляемого источника сил движения воздуха, в качестве основного источника этих сил используется *вентилятор*.



Вентилятором называется механическая установка, создающая разность давлений на входе в вентиляционную сеть и выходе из нее.

Вентиляторы широко применяются во всех отраслях промышленности. На их привод расходуется огромное количество электроэнергии, вырабатываемой в стране. В частности, в горной отрасли на привод вентиляторов, обслуживающих шахту, уходит до 8 ÷ 10% электроэнергии расходуемой всей шахтой. В связи с этим, создание высокоэкономичных вентиляторов и правильное их использование имеет большое экономическое значение.

В настоящем пособии рассматриваются вопросы, связанные с использованием вентиляторов, работающих в системах проветривания подземных выработок шахт. Как правило, шахтные системы вентиляции работают в режимах, изменяющих свои параметры во времени, поэтому экономика работы этих систем зависит от правильного выбора вентилятора, способа и эффективности регулирования режимов его работы и согласования аэродинамических характеристик вентилятора и вентиляционной сети шахты.

В пособии не рассматриваются вопросы теории вентиляторов, основное внимание уделяется вопросам, связанным с практикой использования вентиляторов для работы в шахтных сетях.

Глава 1

Конструкции и параметры вентиляторов

Вентиляционные сети шахт представляют собой совокупность большого количества подземных выработок, отличающихся разнообразием параметров, влияющих на аэродинамику этих сетей. Эти параметры постоянно меняются, следовательно, меняется и аэродинамика сетей.

Выработки могут иметь различную форму поперечного сечения, величина этого сечения колеблется в пределах от $3,0 \div 4,0$ до $30,0 \div 40,0$ м². В больших пределах колеблется и длина выработок, доходя иногда до нескольких тысяч метров. Степень шероховатости стенок выработок, влияющая на величину аэродинамического сопротивления, зависит от типа и размеров крепи выработок и тоже меняется в широких пределах.

Потребители воздуха в шахте отличаются большим разнообразием как по количеству необходимого воздуха, так и по времени его подачи. В качестве потребителя может фигурировать отдельная выработка, так и вся шахта или значительная ее часть.

Эти обстоятельства привели к необходимости создания группы специализированных шахтных вентиляторов, отвечающих по своим параметрам запросам горной отрасли.

Основное отличие шахтных вентиляторов от вентиляторов, применяющихся в других отраслях промышленности – большая производительность при довольно высоких параметрах по давлению. Производительность этих вентиляторов может достигать до $500 \div 600$ м³/с, величина разности давления, создаваемая шахтными вентиляторами, ограничивается значением $0,5 \div 10,0$ кПа. Степень сжатия воздуха вентилятором – 1,1. Это позволяет считать воздух несжимаемым в расчетах, связанных с работой вентилятора.

По своему назначению шахтные вентиляторы условно подразделяются на три группы:

Г главные вентиляторы, обслуживающие вентиляционную сеть всей шахты или большей ее части;

В вспомогательные вентиляторы, обслуживающие значительную часть вентиляционной сети шахты или работающие совместно с главным;

М вентиляторы местного проветривания (ВМП), обеспечивающие воздухом отдельный забой, выработку или рабочее место.

В качестве главных и вспомогательных могут применяться одни и те же вентиляторы значительных размеров. ВМП составляют отдельную группу вентиляторов, отличающихся небольшими размерами, малой мощностью привода и, как правило, небольшой производительностью.

Конструкции шахтных вентиляторов

Все выпускающиеся для горной отрасли вентиляторы относятся по конструкции к так называемым «лопастным нагнетателям». В вентиляторах этого типа энергия вращающегося ротора преобразовывается в потенциальную и кинетическую, в свою очередь сообщаемые перемещаемому воздуху.

Лопастные вентиляторы в соответствии с характером движения воздуха в них и формы ротора (рабочего колеса) подразделяются на осевые и радиальные, последние более известны как центробежные.

Осевые вентиляторы. Осевой вентилятор (рис.1.1) состоит из рабочего колеса (РК) 1, на втулке которого закреплены профильные (в форме крыла самолета) лопатки 2; рабочее колесо вращается в цилиндрическом корпусе или, как его часто называют, кожухе 3. За рабочим колесом располагается спрямляющий аппарат (СА) с неподвижными лопатками 4.

Вращающееся рабочее колесо с помощью лопаток передает энергию привода перемещаемому воздуху. Лопатки рабочих колес изготавливаются из стали или пластмасс (для вентиляторов малых размеров).

Лопатки рабочего колеса могут иметь несимметричный или симметричный профиль. Осевые вентиляторы с лопатками рабочих колес симметричного типа являются реверсивными, поскольку их производительность не меняется при изменении направления вращения рабочего колеса на обратное. Вентиляторы с рабочими лопатками несимметричного типа этим качеством не обладают, их производительность при изменении направления вращения рабочего колеса резко снижается, но эти вентиляторы имеют хорошие аэродинамические характеристики и повышенный коэффициент полезного действия. Спрямляющий аппарат обеспечивает плавный переход воздуха от лопаток рабочего колеса к выходу в диффузор или сеть и частично преобразует динамическое давление в движущемся потоке воздуха в статическое давление.

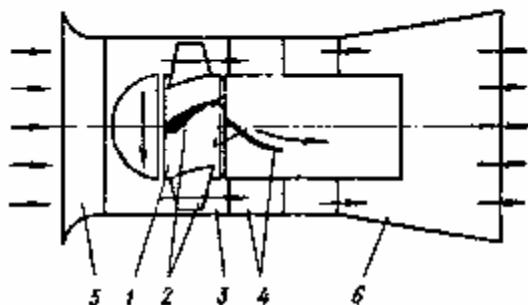


Рис.1.1. Схема осевого вентилятора: 1 – рабочее колесо; 2 – лопатки рабочего колеса; 3 – кожух; 4 – спрямляющий аппарат; 5 – коллектор; 6 – диффузор

В конструкцию шахтных вентиляторов вводятся два обтекателя, назначение которых заключается в снижении аэродинамических потерь, связанных с резким изменением скоростей движения воздуха. Передний обтекатель устанавливается во входном коллекторе, перед рабочим колесом или направляющим аппаратом, задний – после спрямляющего аппарата, перед диффузором или входом в вентиляционную сеть.

В осевых вентиляторах направление движения воздушного потока совпадает с осью вращения рабочего колеса. Воздух засасывается в коллектор 5, проходит между лопатками вращающегося рабочего колеса, затем поступает в спрямляющий аппарат, оттуда в диффузор 6 и выбрасывается в атмосферу (при работе вентилятора на всасывание).

Осевые вентиляторы могут быть одноступенчатыми (с одним рабочим колесом) и двухступенчатыми. В последнем случае в кожухе вентилятора находятся две ступени, работающие последовательно и имеющие каждая свое рабочее колесо.

Между рабочими колесами находится промежуточный направляющий аппарат (НА). Конструктивно направляющий аппарат состоит из неподвижных профильных лопаток или профильных лопаток с регулируемым углом установки. Назначение направляющего аппарата – подача воздуха к рабочему колесу, установленному за ним в определенном, более эффективном направлении, и преобразование значительной части кинетической энергии потока (динамического давления) в потенциальную (статическое давление). Спрямляющий аппарат устанавливается за вторым рабочим колесом по ходу струи. Обе ступени могут находиться на одном валу или на отдельных валах (вентилятор ВОД-16). Наличие двух ступеней позволяет вентилятору развивать более высокое давление.

Центробежные вентиляторы. Основу вентилятора (рис.1.2) составляет рабочее колесо 1, между передним и задним дисками которого закреплены профильные крыловидные лопатки таким образом, что их входная кромка располагается на окружности меньшего радиуса, чем выходная хвостовая часть. Рабочее колесо может быть с лопатками, загнутыми вперед по ходу колеса, радиальными и загнутыми назад, назначение рабочего колеса – передавать энергию привода вентилятора перемещаемому воздуху. Рабочее колесо вращается в спиральном кожухе 2, выполненном из листовой стали. Улиткообразный кожух предназначен для подачи воздуха в определенном направлении и частичного преобразования динамического давления в потоке воздуха в статическое давление. Воздух засасывается в вентилятор через входной

коллектор 3, в котором установлены не вращающиеся, а только поворачивающиеся каждая относительно своей оси лопатки 4 направляющего аппарата. Направляющий аппарат предназначен для подачи воздуха к рабочему колесу с определенной скоростью и под определенным углом, это позволяет регулировать рабочие режимы вентилятора.

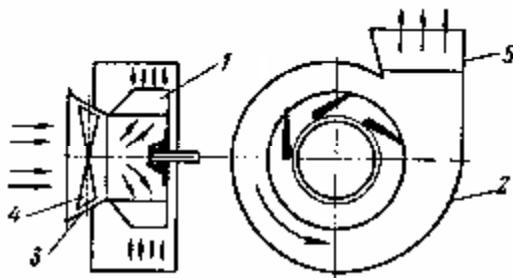


Рис. 1.2. Схема центробежного вентилятора: 1 – рабочее колесо; 2 – спиральный кожух; 3 – входной коллектор; 4 – лопатки направляющего аппарата; 5 – диффузор

В рабочее колесо воздух входит параллельно оси вала вентилятора, затем под действием тяги, развиваемой лопатками, и центробежной силы поворачивает на 90° , проходит между лопатками, выбрасывается в периферийную часть кожуха и выходит через диффузор 5 в атмосферу (при работе вентилятора на всасывание). Диффузор является дополнительным преобразователем динамического давления в потоке на выходе из кожуха в давление статическое.

Центробежные вентиляторы могут выполняться с односторонним или двусторонним всасом. В последнем случае на валу вентилятора устанавливается спаренное рабочее колесо, соединенное втулками большего диаметра. Воздух поступает на рабочее колесо с двух сторон, из двух направляющих аппаратов. Двустороннее всасывание позволяет разгрузить подшипники вала от осевого давления и уменьшить сопротивление движущемуся воздуху во всасывающей части. Последнее обстоятельство позволяет увеличить производительность центробежного вентилятора.

Достоинства осевых вентиляторов:

- J относительная простота конструкции;
- J простота монтажа, меньшая площадь под установку;
- J простота реверса воздушной струи (большинство современных осевых вентиляторов вообще не нуждаются в устройстве реверсивных каналов);
- J относительно высокая производительность;
- J более высокий коэффициент полезного действия;
- J удобство применения вентиляторов этого типа в качестве передвижных ВМП.

Достоинства центробежных вентиляторов:

- J высокая механическая надежность и большой срок службы, связанные с применением более низких скоростей вращения рабочего колеса;
- J высокая устойчивость и надежность рабочих режимов, связанные с видом характеристик этих вентиляторов;
- J меньшая шумность при работе;
- J относительно высокая депрессия;
- J большая глубина регулирования;
- J меньшая чувствительность к загрязненному воздуху.

Выпускаемые для горной отрасли вентиляторы могут одинаково эффективно работать как на всасывание, так и на нагнетание.

Параметры шахтных вентиляторов

Вентиляторы, выпускаемые для работы в системах проветривания шахт, различаются не только по конструкции и назначению, но и своими параметрами, обуславливающими их использование в тех или иных условиях.

Основными параметрами вентиляторов являются их производительность, развиваемое давление, диаметр рабочего колеса, потребляемая мощность, коэффициент полезного действия, окружная скорость рабочего колеса, угол поворота лопаток рабочего колеса и (или) направляющего аппарата.

Именно эти параметры определяют возможность и целесообразность применения конкретного вентилятора для работы в конкретной вентиляционной сети.

В горной практике для характеристики параметров вентиляторов вместо термина «давление» чаще используется понятие «депрессия».

Условно из этой группы можно выделить параметры *эксплуатационные* – производительность и депрессию, как основные. Эти два параметра объединяются в одно общее понятие – *режим работы* вентилятора. Три другие параметра – диаметр рабочего колеса, окружная скорость вращения рабочего колеса и угол поворота лопаток рабочего колеса и направляющего аппарата называются *регулируемыми*. Изменение величины любого из них приводит к изменению эксплуатационных параметров. Мощность на валу вентилятора и его коэффициент полезного действия можно отнести к *производным* параметрам, зависимым от совокупности остальных параметров вентилятора.

Производительность вентилятора (Q_B). Под производительностью вентилятора понимается объем воздуха, проходящего через вентилятор при его работе в единицу времени. Производительность выражается в $\text{м}^3/\text{с}$ или $\text{м}^3/\text{мин}$, причем при проведении аэродинамических расчетов используется исключительно первый вариант. Производительность шахтных вентиляторов колеблется в весьма широких пределах. Вентиляторы, используемые как ВМП, имеют производительность $2,0 \div 20,0 \text{ м}^3/\text{с}$, используемые как вспомогательные и главные – $20,0 \div 600,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

Депрессия вентилятора (H_B). Депрессией вентилятора называется разность статических давлений в воздушном потоке на входе в вентилятор и выходе из него. Основная единица, используемая для выражения величины депрессии – Па ($\text{Н}/\text{м}^2$). В технической литературе встречаются и используются и другие единицы давления – $\text{кгс}/\text{м}^2$ и мм вод.ст. Соотношение всех используемых единиц может быть представлено выражением

$$1 \text{ кгс}/\text{м}^2 = 1 \text{ мм вод.ст.} = 1 \text{ даПа} = 10 \text{ Па}$$

Величина депрессии, развиваемой шахтными вентиляторами, колеблется в пределах $0,5 \div 10,0$ кПа.

Диаметр рабочего колеса (D_B). Диаметр рабочего колеса – параметр конструктивный, он не может быть изменен в течение срока службы вентилятора. Шахтные вентиляторы выпускаются с диаметрами рабочего колеса $0,3 \div 1,2$ м (вентиляторы местного проветривания) и $1,1 \div 5,0$ м (вспомогательные и главные вентиляторы).

Скорость вращения рабочего колеса (n). Обычно имеется в виду количество оборотов рабочего колеса в единицу времени (мин^{-1}). В связи с большими размерами рабочих колес вентиляторов и необходимостью обеспечения механической прочности последних, линейная скорость на ободу колеса (м/с) ограничивается. Выпускаемые для горной отрасли вентиляторы работают при скоростях от 250 мин^{-1} (вентиляторы с диаметром рабочего колеса $4,0 \div 5,0$ м) до 3000 мин^{-1} (ВМП). Изменение скорости рабочего колеса вентилятора приводит к изменению его эксплуатационных параметров. Этим обстоятельством пользуются для регулировки режимов работы вентиляторов при наличии регулируемого по скорости привода.

Угол поворота лопаток рабочего колеса (θ_{pk}). Углом поворота лопаток рабочего колеса считается угол, образуемый хордой профиля лопатки рабочего колеса и плоскостью вращения последнего. По условиям эффективности аэродинамической схемы осевых вентиляторов этот угол может колебаться в пределах $15 \div 45^\circ$, его изменение приводит к изменению основных параметров – производительности и депрессии вентилятора. Таким образом, угол поворота лопаток рабочего колеса является регулируемым параметром. В первых разработках осевых вентиляторов лопатки рабочего колеса крепились к последнему неподвижно (с помощью сварки), у этих вентиляторов отсутствовала возможность регулирования режимов. Современные шахтные осевые вентиляторы выпускаются, как правило, с регулируемым углом установки лопаток.

Более того, в последних разработках конструкций шахтных вентиляторов предусмотрены механизмы для одновременного и плавного изменения этого угла. Такой вид регулирования режимов работы вентиляторов называют *грубой регулировкой*.

Угол поворота лопаток направляющего аппарата ($\theta_{\text{на}}$). Углом поворота лопаток направляющего аппарата принято считать угол между хордой профиля лопатки и плоскостью, проходящей через ось рабочего колеса. Этот параметр вентилятора также относится к регулировочным. Лопатки направляющего аппарата могут быть закреплены жестко, в этом случае возможность регулировки отсутствует (вентиляторы ВОКД и более ранние), и могут иметь изменяемый угол установки. Изменяемый угол поворота лопаток направляющего аппарата имеют все современные центробежные вентиляторы и осевые вентиляторы серий ВОКР и ВОД. Как правило, угол поворота лопаток может изменяться в пределах $0 \div 90^\circ$. Поворот лопаток направляющего аппарата у центробежных вентиляторов на 90° фактически перекрывает входное сечение коллектора, сокращая до минимума производительность вентилятора и, естественно, нагрузку на валу вентилятора. Этим приемом пользуются при запуске крупных вентиляторов. Регулирование рабочих параметров с помощью поворота лопаток направляющего аппарата называется *тонким регулированием* вентилятора.

Мощность на валу вентилятора (N_B). Мощность на валу вентилятора (кВт) для любого режима может быть подсчитана по формуле

$$N_B = \frac{Q_B H_B}{1000 h_g}, \quad (1.1)$$

где Q_B – производительность в расчетном режиме, $\text{м}^3/\text{с}$;

H_B – депрессия в том же режиме, Па;

h_g – статический коэффициент полезного действия для этого режима.

Статический коэффициент полезного действия ($h_{в.ст}$).

Поскольку перемещение воздуха осуществляется за счет статического давления, создаваемого вентилятором, в выражении (1.1) в качестве коэффициента полезного действия используется так называемый «статический» коэффициент полезного действия, который меньше полного КПД вентилятора на 20÷30%.

Величина *максимального статического* коэффициента полезного действия зависит от аэродинамической схемы вентилятора. Максимальный статический коэффициент полезного действия современных шахтных осевых вентиляторов достаточно высок и колеблется в пределах от 0,78 (ВОКР-1,8) до 0,81 (ВОД-11), у центробежных вентиляторов этот параметр немного выше – 0,84÷0,86.

Вопросы для самоконтроля

1. Чем отличаются шахтные вентиляторы от других вентиляторов, применяемых в промышленности?
2. Представьте конструкцию осевого вентилятора, назовите основные узлы и поясните их назначение.
3. Представьте конструкцию центробежного вентилятора, назовите основные узлы и поясните их назначение.
4. Назовите основные параметры вентилятора, приведите единицы измерения этих параметров и величину в приложении к применяемым шахтным вентиляторам.
5. Какие из параметров вентиляторов называются *регулируемыми*? Почему?

Глава 2

Характеристики вентиляторов

Понятие

Все основные параметры вентилятора связаны между собой через аэродинамическую схему этого вентилятора. Изменение производительности вентилятора приводит к изменению других параметров – депрессии, потребляемой мощности и коэффициента полезного действия. Для успешного использования вентилятора в системе проветривания шахты необходимо четко представлять эту связь параметров. С этой целью в теорию и практику применения вентиляторов введено понятие «характеристика вентилятора».

Поскольку получить корректные аналитические зависимости для нерасчетных режимов работы вентилятора до настоящего времени практически не удалось, речь может идти только о графическом выражении этих зависимостей.



Характеристикой вентилятора принято называть графическую интерпретацию связи между его производительностью и другими основными параметрами – депрессией, потребляемой мощностью и коэффициентом полезного действия.

Графики характеристик выполняются в соответствующих осях – $H-Q$, $N-Q$ и $\eta-Q$.

Названные выше характеристики удобно свести в один график, представляющий собой единую полную аэродинамическую

характеристику вентилятора для какого-то постоянного числа оборотов рабочего колеса. Этот график некоторые авторы [8] называют полной характеристикой вентилятора. Вид такой характеристики представлен на рис.2.1.

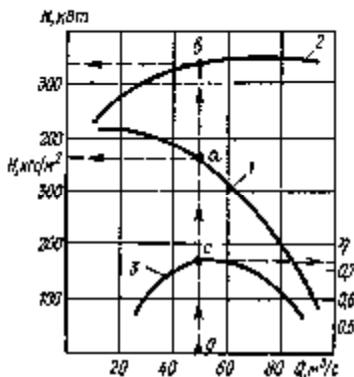


Рис. 2.1. Основные аэродинамические характеристики вентилятора: 1 – $H-Q$; 2 – $N-Q$; 3 – $\eta-Q$

Определяющими параметрами при выборе вентилятора для работы в системе вентиляции шахты являются его производительность и депрессия, это параметры, которые должны обеспечивать потребности шахты в воздухе с учетом аэродинамического сопротивления сети. Приведенное обстоятельство предопределяет необходимость выбора вентилятора по его напорной характеристике ($H-Q$). Другие зависимости ($N-Q$ и $\eta-Q$) только отражают затраты энергии на проветривание сети.

Напорная характеристика вентилятора

Форма кривой напорной характеристики зависит от типа вентилятора, его аэродинамической схемы, скорости вращения и формы рабочего колеса, угла установки и формы лопаток рабочего колеса.

Существует три основных типа напорных характеристик вентиляторов:

Ф характеристики вентиляторов, у которых депрессия неуклонно снижается с ростом производительности (рис. 2.2, а). Такие характеристики называются монотонными, они присущи осевым вентиляторам с малыми углами установки лопаток рабочих колес и некоторым центробежным;

Б характеристики вентиляторов, у которых кривая имеет ярко выраженный максимум (рис. 2.2, б). Это так называемые «горбатые» характеристики, такими характеристиками обладает большинство центробежных вентиляторов;

В характеристики вентиляторов, у которых кривая имеет максимум (иногда два) и минимум (рис. 2.2, в). Эти характеристики называются многогорбыми, или седловидными, такие характеристики принадлежат большинству современных быстроходных осевых вентиляторов, с большими углами установки лопаток рабочего колеса.

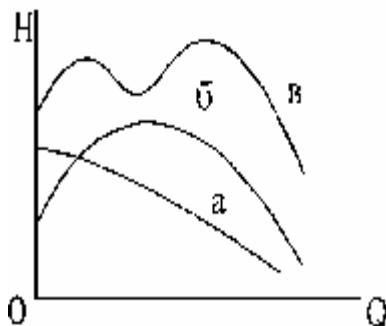


Рис.2.2. Формы напорных характеристик: а – монотонная; б – горбатая; в – многогорбая

Напорная характеристика может встречаться и использоваться в нескольких вариантах: частная характеристика, индивидуальная характеристика, безразмерная характеристика. Чаще других в практике работы с вентиляторами используется индивидуальная.

Индивидуальная характеристика вентилятора и сводный график серии

Напорная характеристика, отражающая соотношение между производительностью и депрессией при постоянной скорости вращения рабочего колеса и постоянном угле поворота лопаток рабочего колеса и направляющего аппарата называется *частной характеристикой*. При изменении скорости вращения рабочего колеса или угла установки лопаток положение характеристики в системе координат $H-Q$ меняется. Если на систему координат нанести некоторое количество частных характеристик, различающихся углом установки лопаток рабочего колеса или направляющего аппарата, в системе координат появится семейство частных характеристик, построенное по углу установки лопаток. Аналогично можно получить семейство частных характеристик, построенное по скорости вращения. Характеристики в этих семействах будут подобными.

Почти постоянная величина депрессии в районе горизонтального участка максимума горбатой и многогорбой характеристик и снижение депрессии левее максимумов чреваты возможностью неустойчивой работы вентилятора, при которой могут возникнуть случайные или периодические колебания в подаче воздуха в вентиляционную сеть, колебания мощности на валу вентилятора, изменения механической нагрузки на элементы конструкции вентиляторной установки. Эта неустойчивость в работе особенно отчетливо проявляется у осевых вентиляторов, характеристики которых могут иметь не только резкие впадины, но и разрывы левее максимумов. Для центробежных вентиляторов, характеристики которых имеют плавные формы, это явление выражается в менее значительной степени.

Это обстоятельство вызывает необходимость запрещения эксплуатации вентиляторов на участках характеристик, находящихся в районе максимума и левее его. Для обеспечения устойчивой работы вентилятора во время эксплуатации при его выборе должно соблюдаться условие

$$H_в \leq 0,9H_{\max} \quad (2.1)$$

т.е. вентилятор может при работе на сеть создавать депрессию, не превышающую 90% от максимально возможной по характеристике.

С другой стороны, вентилятор является машиной, коэффициент полезного действия которой изменяется в широких пределах в зависимости от сочетания производительности и депрессии.

Как правило, коэффициент полезного действия уменьшается при перемещении режима работы сверху вниз по ниспадающей ветви характеристики. В настоящее время при эксплуатации вентилятора считается допустимой его работа в режиме, удовлетворяющем условию

$$h_u \geq 0,6 \quad (2.2)$$

Условие (2.1) ограничивает рабочий участок характеристики вентилятора сверху, а условие (2.2) – снизу.

На рис.2.3,а показано семейство частных характеристик вентилятора ВЦД-47, построенных по скорости вращения, а на рис. 2.3,б – семейство частных характеристик вентилятора ВОД-50, построенных по углу поворота лопаток рабочего колеса.

На обоих рисунках кривая *a-b* проведена в соответствии с условием (2.1), а кривая *c-d* – в соответствии с условием (2.2).

Кривая *b-c* на этих рисунках представляет собой частную характеристику, построенную по максимально возможному углу поворота лопаток рабочего колеса для вентилятора ВОД-50 и – по максимально возможной скорости вращения рабочего колеса для вентилятора ВЦД-47. Кривая *a-d* на рисунках представляет собой частную характеристику для минимально возможного угла поворота лопаток (ВОД-50) и минимально возможной скорости вращения рабочего колеса (ВЦД-47).

При наличии возможности плавного изменения угла поворота лопаток у вентилятора ВОД-50 и плавного изменения скорости вращения рабочего колеса у вентилятора ВЦД-47 соответственно, эти вентиляторы могут работать в любом режиме, находящемся внутри фигуры *a-b-c-d*. При этом, для этих режимов гарантирована надежность и устойчивость – границей *a-b*, экономическая эффективность – границей *a-d* и техническое обеспечение – границами *b-c* и *a-d*.

Полученное в результате ограничений семейства частных характеристик поле называется областью полезного использования (ОПИ).

В области полезного использования обычно показывают несколько частных характеристик, соответствующих максимальному, минимальному и небольшому числу промежуточных регулировочных параметров. На рис. 2.3, б – для углов поворота лопаток от 15° до 40° через 5° , на рис. 2.3, а – для скорости вращения $250 \div 490 \text{ мин}^{-1}$ через 50 мин^{-1} . Кроме этого, в области полезного использования показаны кривые, соединяющие точки на частных характеристиках с одинаковым коэффициентом полезного действия, на рис. 2.3, б – в интервале $0,60 \div 0,80$ через $0,05$; на рис. 2.3, а – в интервале $0,60 \div 0,85$.

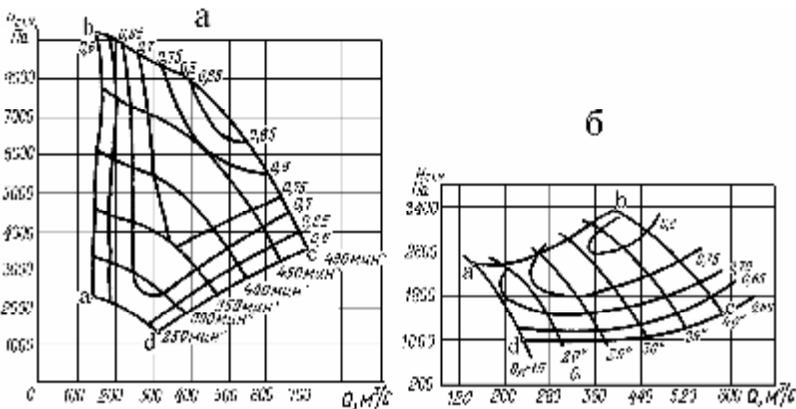


Рис. 2.3. Индивидуальные характеристики: а – вентилятора ВЦД-47; б – вентилятора ВОД-50

Полученная путем таких преобразований напорная характеристика называется *индивидуальной характеристикой* вентилятора. В технической литературе можно встретить и другие ее названия – *заводская эксплуатационная характеристика* [8] и *универсальная характеристика* [4].

Общее представление о возможностях использования отдельных типов вентиляторов можно получить из сводных графиков рабочих зон вентиляторов (рис.2.4).

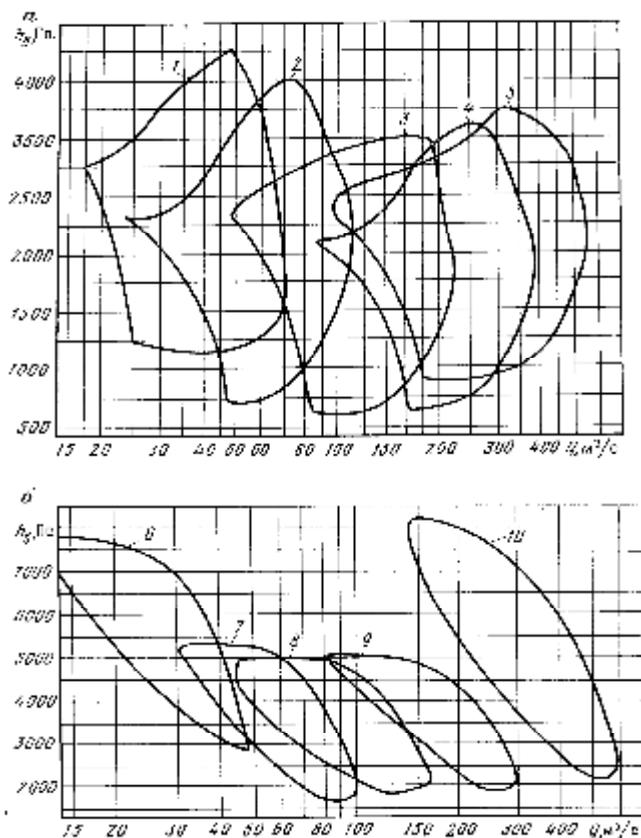


Рис. 2.4. График зон промышленного использования осевых (а) и центробежных (б) вентиляторов: 1,2,3,4,5 – соответственно ВОД-16, ВОД-21, ВОД-30, ВОД-40 и ВОД-50; 6,7,8,9,10 – соответственно ВЦ-16, ВЦ-25, ВЦ-31,5М, ВЦД-31,5М и ВЦД-47У

Безразмерная характеристика вентилятора

При решении задач, связанных с работой вентиляторов, в частности задач по подбору наивыгоднейшего типоразмера вентиляторов, удобно пользоваться так называемыми «безразмерными» характеристиками вентиляторов. Эти характеристики свойственны данному типу геометрически подобных вентиляторов, образующих единую серию, и не зависят от их размеров и скорости вращения рабочих колес (рис. 2.5).

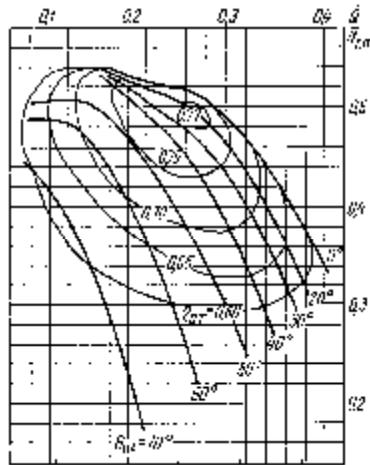


Рис. 2.5. Безразмерная характеристика вентиляторов ВЦД для разных углов установки лопаток осевого направляющего аппарата

Преимущество таких характеристик в том, что вместо большого количества индивидуальных характеристик можно использовать одну характеристику, отражающую свойства рассматриваемой серии вентиляторов.

Безразмерные характеристики вентиляторов строятся в осях координат $\bar{H} - \bar{Q}$. Индивидуальные производительность и депрессия заменяются отвлеченными производительностью (\bar{Q}) и депрессией (\bar{H}), которые определяются по формулам

$$\bar{Q} = \frac{Q}{Fu}, \quad (2.3)$$

$$\bar{H} = \frac{H}{ru^2}, \quad (2.4)$$

где F – площадь колеса вентилятора, m^2 ;

u – окружная скорость колеса по концам рабочих лопаток, m ;

ρ – плотность воздуха, принимается равной $1,22 \text{ кг/м}^3$.

В связи с введением понятий «*отвлеченная производительность*» и «*отвлеченная депрессия*», такие характеристики также называются *отвлеченными*.

Безразмерные характеристики центробежных вентиляторов могут быть построены в осях условных δ - μ , тогда производительность Q заменяется коэффициентом производительности

$$d = \frac{4Q}{kuD^2}, \quad (2.5)$$

где k – число сторон всасывания в аэродинамической схеме серии вентиляторов;

D – диаметр рабочего колеса, m .

Соответственно депрессия H заменяется коэффициентом депрессии

$$m = \frac{H}{ru^2}. \quad (2.6)$$

На безразмерные характеристики, так же, как и индивидуальные, наносятся кривые, показывающие изменение коэффициентов полезного действия в зависимости от производительности.

При наличии безразмерной характеристики серии можно перейти к индивидуальной характеристике любого типоразмера вентилятора этой серии для любой скорости вращения рабочего колеса, пользуясь выражениями (2.3), (2.4), (2.5) и (2.6).

Напорная характеристика вентилятора в системе координат H - Q может быть продолжена во второй и четвертый квадранты системы. Естественно, во втором квадранте положительные значения депрессий будут сочетаться с отрицательными значениями

расходов, а в четвертом квадранте – положительные значения расходов сочетаются с отрицательными значениями депрессий

Напорные характеристики с учетом продолжений во II и IV квадранты называются *полными напорными* характеристиками (рис.2.6).

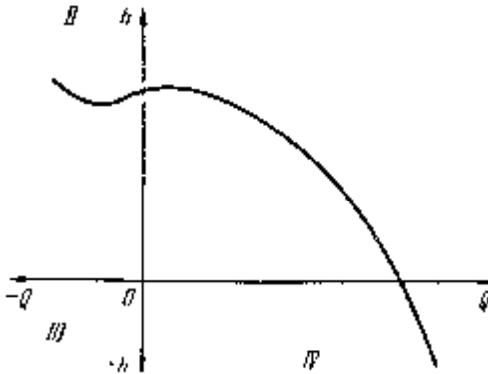


Рис.2.6. Полная характеристика вентилятора

Эти продолжения представляют теоретический интерес при анализе совместной работы вентиляторов на сеть. В практике инженерных расчетов с полными напорными характеристиками вентиляторов сталкиваться почти не приходится, потому что чаще всего они неизвестны.

Способы построения характеристик

Все размеры проточной части проектируемого вентилятора (рабочего колеса, направляющего и спрямляющего аппаратов, кожуха и диффузора) определяются аэродинамической схемой. Для получения эффективной аэродинамической схемы проектируются, изготавливаются и испытываются на специальном стенде модели будущего вентилятора с рабочим колесом диаметром 500 мм. Модель с лучшими показателями из числа отработанных проходит контрольные испытания. Снимаются аэродинамические характеристики модели. Если полученные характеристики

соответствуют заданным производительности, депрессии и коэффициенту полезного действия, схема принимается для дальнейшего использования в качестве стандартной.

Поскольку все размеры в аэродинамической схеме задаются в долях от диаметра рабочего колеса по внешним концам рабочих лопаток (D_2), размеры вентилятора с любыми параметрами можно получить по принятой аэродинамической схеме и диаметру D_2 .

Вентиляторы, у которых все проточные размеры пропорциональны размерам разработанной модели, принято называть *геометрически подобными*.

Таким образом, аэродинамическая характеристика получается на стадии проектирования и испытания модели. Это может быть размерная характеристика в осях H - Q или безразмерная (отвлеченная), по которой в дальнейшем, путем пересчета, можно получить индивидуальную характеристику для любого типоразмера и любой скорости вращения рабочего колеса вентилятора данной серии.

Преобразование безразмерных (отвлеченных) характеристик в размерные индивидуальные производится с использованием выражений (2.3), (2.4), (2.5) и (2.6).

Индивидуальные характеристики подобных вентиляторов (вентиляторов одной серии) могут быть пересчитаны для любого диаметра и любой скорости вращения рабочего колеса, исходя из соотношений, называемых *законами подобия*

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{H_1}{H_2} \left(\frac{D_{2_1}}{D_{2_2}} \right)^3; \quad (2.7)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \left(\frac{D_{2_1}}{D_{2_2}} \right)^2; \quad (2.8)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \left(\frac{D_{2_1}}{D_{2_2}} \right)^5, \quad (2.9)$$

где Q_1, H_1, n_1, D_{2_1} – параметры вентилятора, характеристика которого принята в качестве исходной для пересчета;

Q_2, H_2, n_2, D_{2_2} – параметры вентилятора, характеристику которого предполагается получить пересчетом.

Поскольку чаще всего в практике использования вентиляторов приходится решать вопрос, связанный с необходимостью получения индивидуальной характеристики вентилятора для другой скорости вращения рабочего колеса (смена двигателя), в выражениях (2.7), (2.8) и (2.9) выпадает член с соотношением диаметров, поскольку $D_{2_1} = D_{2_2}$ и само выражение упрощается.

При изменении скорости вращения вентилятора возможно применение приема, основанного на оставлении индивидуальной неизменной характеристики в осях координат Н-Q с заменой значений по этим осям на новые, рассчитанные в соответствии с упомянутыми выражениями.

Вопросы для самоконтроля

1. Какой вид имеют основные зависимости Н-Q, N-Q, η -Q в соответствующих графиках?

2. От каких параметров вентилятора зависит форма его *напорной характеристики*?

3. Почему напорная характеристика считается *основной* при использовании вентилятора?

4. Что представляет собой *частная характеристика* вентилятора? По каким параметрам строятся частные характеристики?

5. Результатом каких ограничений семейства частных характеристик является *поле режимов* работы вентилятора, называемое *областью полезного использования* (ОПИ)?

6. Какие вентиляторы называют *геометрически подобными*?

7. Как меняются параметры вентилятора (Q, H, N) при изменении числа оборотов в соответствии с *законами подобия*?

8. В чем смысл использования безразмерных характеристик? В каком случае они могут быть применены?



Глава 3

Работа вентиляторов на сеть

Все достоинства и возможности вентилятора могут проявляться далеко не во всех случаях его эксплуатации. Даже современный вентилятор может иметь очень плохие эксплуатационные характеристики при работе на вентиляционную сеть, если эта сеть по своим параметрам не соответствует рабочим параметрам вентилятора. В предлагаемой главе рассматриваются вопросы взаимосвязи вентиляторов с вентиляционными сетями.

Работа одиночного вентилятора на сеть

Режим работы вентилятора. Индивидуальная характеристика любого современного шахтного вентилятора представляет собой семейство частных характеристик, построенных на основе изменения скорости вращения рабочего колеса ($n_{рк}$) или угла поворота лопаток ($\theta_{рк}$ или $\theta_{на}$). Однако следует помнить, что после окончания регулировки, т.е. выбора конкретной величины скорости вращения и угла поворота лопаток, вентилятор работает на единственной напорной характеристике, соответствующей выбранным регулировочным параметрам.

Эта частная характеристика представляет собой ряд точек, имеющих координаты в виде сочетаний Q_B и H_B . Значение координат отвечает выражению зависимости $H = f(Q)$, присущему данному вентилятору. Каждая точка характеристики с ее координатами – возможный *режим работы* этого вентилятора.



Режимом работы вентилятора называется точка на его напорной характеристике с координатами, представляющими собой производительность и депрессию, развиваемые вентилятором в данном случае

С другой стороны, вентилятор при его эксплуатации работает на определенную вентиляционную сеть. Следуя законам аэродинамики, любую сеть можно представить выражением

$$H = RQ^2, \quad (3.1)$$

где R – аэродинамическое сопротивление сети, $\text{Нс}^2/\text{м}^8$.

Это выражение представляет собой общий вид характеристики сети. Характеристика сети может быть построена в осях $H - Q$, если известна величина аэродинамического сопротивления этой сети. Характеристика сети (рис.3.1, 2) представляет собой параболу, проходящую через начало координат.

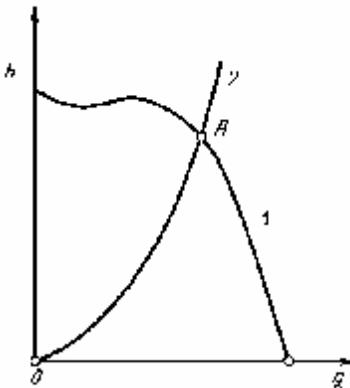


Рис.3.1. Режим работы вентилятора на сеть

Ее крутизна определяется величиной аэродинамического сопротивления. Каждая точка этой кривой имеет координаты в виде сочетаний величин Нс и Q , т.е. возможный режим в этой сети.



Режимом работы сети называется точка на ее характеристике с координатами, представляющими собой расход воздуха в сети и депрессию, необходимую для обеспечения этого расхода.

Если обе характеристики (вентилятора 1 и сети 2) построить в одном масштабе в системе координат (рис.3.1), при соответствии параметров сети возможностям вентилятора, появится точка А (возможно не одна) пересечения этих характеристик.

Поскольку эта точка одновременно является и режимом работы вентилятора и режимом работы сети, она получила специальное название – *режим работы вентилятора на сеть*.



Режимом работы вентилятора при постоянных регулировочных параметрах на конкретную сеть называется точка пересечения характеристик этого вентилятора и этой сети.

Координаты этой точки представляют собой производительность и депрессию, которые развивает вентилятор, работая на эту сеть.

Режим работы вентилятора на сеть может быть *устойчивым* и *неустойчивым*.

Устойчивым режимом считается режим, при котором одному значению депрессии соответствует одно значение производительности.

Неустойчивые режимы располагаются у вершины напорной характеристики вентилятора и слева от нее. Неустойчивый режим может быть *пульсирующим* или *многозначным*.

В первом случае режим находится в области вершины напорной характеристики (рис.3.2, а), производительность вентилятора изменяется значительно при практически неизменяемой величине давления. Во втором случае (рис.3.2, б) характеристика вентилятора пересекается с характеристикой сети в нескольких

точках, мало отличающихся по производительности, но заметно отличающихся по давлению. Оба случая вредны как для сети, так и для вентилятора.

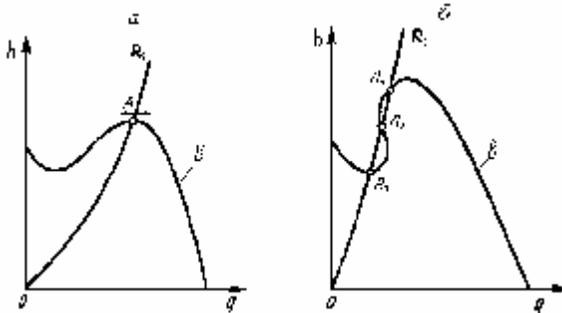


Рис.3.2. Неустойчивые режимы работы вентилятора на сеть: а – пульсирующий; б – многозначный

Для вентиляционной сети неустойчивая работа вентилятора опасна низкой надежностью и отсутствием гарантий подачи воздуха в достаточном количестве к потребителям со всеми вытекающими последствиями. С другой стороны, неустойчивый режим работы вентилятора приводит к возникновению опасных напряжений в конструкциях установки и возможности их разрушения во время работы.

Устойчивая работа вентилятора на сеть может быть обеспечена при соблюдении двух основных условий:

- Г** рабочий режим вентилятора должен находиться на нисходящей ветви напорной характеристики, справа от ее вершины;
- Г** величина депрессии, развиваемой вентилятором, должна составлять не более 90% от максимальной для этой вершины.

Возможность возникновения и характер неустойчивости режима в первую очередь определяется формой напорной характеристики вентилятора. Монотонные характеристики всегда гарантируют устойчивый режим работы, чего нельзя сказать о горбатых характеристиках и тем более о многогорбых (седловидных). Таким образом, с точки зрения устойчивости, при выборе

вентилятора предпочтительнее ориентироваться на вентиляторы центробежные и тихоходные осевые.

С другой стороны, положение точки режима зависит и от характеристики сети (рис.3.3). Точки A_1 и A_2 представляют собой устойчивые режимы, чего нельзя сказать о режимах A_3 , A_4 и A_5 . Режимная точка тем больше смещается влево, т. е. приближается к зоне неустойчивых режимов на характеристике вентилятора, чем круче характеристика сети или, другими словами, чем больше величина аэродинамического сопротивления сети.

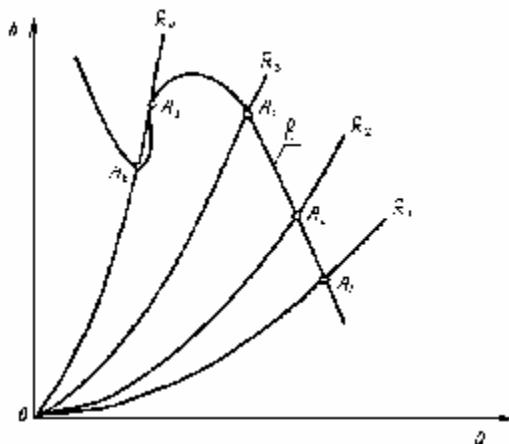


Рис. 3.3. Зависимость режима работы вентилятора от сети: А - режимы; R - сопротивление сети

Регулирование режимов работы вентилятора. В результате использования напорной частной характеристики вентилятора, соответствующей определенной скорости вращения и определенному углу установки лопаток рабочего колеса и (или) направляющего аппарата, при его работе на сеть можно получить один устойчивый режим. Однако все современные шахтные вентиляторы снабжаются индивидуальной характеристикой, представляющей семейство частных, построенное по одному из регулировочных параметров. В этом случае нанесенная на область полезного использования вентилятора характеристика шахты пересекает множество частных характеристик, построенных по углу поворота лопаток рабочего колеса (рис.3.4) или по скорости вращения (рис. 3.5).

Режимы работы вентиляторов на этих рисунках представлены точками на отрезках а–b характеристик сетей. Анализ параметров этих режимов показывает:

Г при регулировании поворотом лопаток рабочего колеса величина параметров режима (H_B и Q_B) уменьшается с уменьшением угла поворота лопаток;

Г при регулировании изменением скорости вращения рабочего колеса рабочие параметры возрастают с ростом скорости;

Г при регулировании центробежных вентиляторов поворотом лопаток осевого направляющего аппарата (рис.3.6) рабочие параметры уменьшаются с увеличением угла поворота лопаток, поскольку последние перекрывают входное отверстие вентилятора.

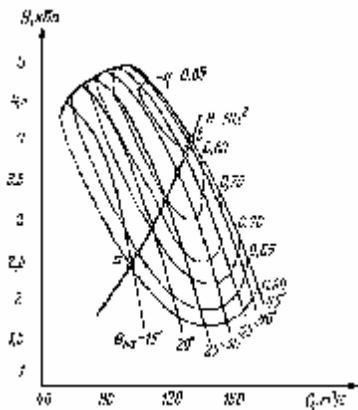


Рис. 3.4. Регулирование углом поворота лопаток у осевых вентиляторов

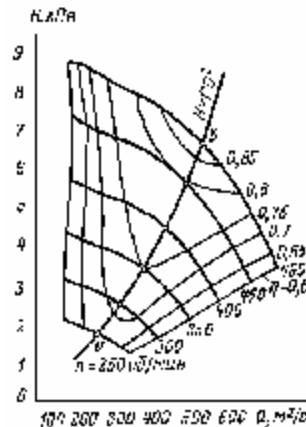


Рис. 3.5. Регулирование скоростью вращения у центробежных вентиляторов

Регулирование изменением угла установки лопаток рабочего колеса называется грубой регулировкой, этот способ является основным при работе с осевыми вентиляторами. Поворот выполняется индивидуально для каждой лопатки на остановленном вентиляторе через специальные люки в корпусе.

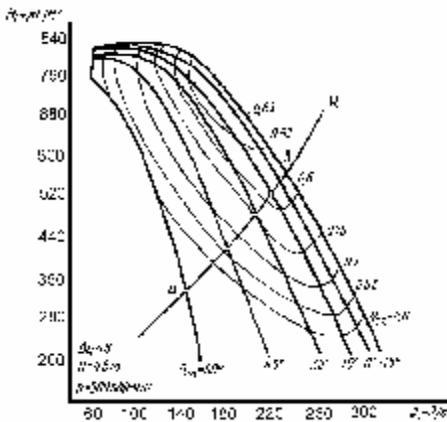


Рис.3.6. Тонкое регулирование поворотом лопаток НА у центробежных вентиляторов

Регулирование рабочих режимов изменением скорости вращения рабочего колеса применяется на центробежных вентиляторах. Для осуществления такой регулировки центробежные вентиляторы снабжаются приводом с системой плавного регулирования оборотов (ВЦД-47У-Р) или комплектуются двигателями со ступенчатым изменением скорости.

Тонкое регулирование рабочих режимов у большинства шахтных вентиляторов осуществляется с помощью поворота лопаток осевых (центробежные вентиляторы) или промежуточных (осевые вентиляторы) направляющих аппаратов.

В отдельных случаях для регулирования применяют специальные закрылки на рабочем колесе (ВЦЗ-32) или поворотные конструкции в спрямляющих аппаратах (ВОД-40).

Способы работы вентилятора на шахтную сеть. Движение нужного количества воздуха в пределах вентиляционной сети шахты обеспечивается перепадом давлений в точке входа в сеть и точке выхода из нее. В зависимости от варианта создания необходимого перепада давлений в сети различают нагнетательный, всасывающий и комбинированный (нагнетательно-всасывающий) способы проветривания сети. Техническая сторона организации

того или другого способа заключается в схеме включения вентилятора в эту сеть.

Вентилятор может включаться в шахтную вентиляционную систему для работы на всасывание (рис.3.7, а), для работы на нагнетание (рис.3.7, б) или для работы по комбинированному способу (рис.3.7, в).

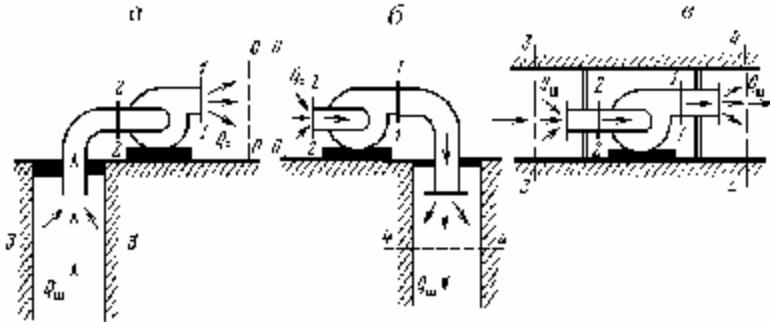


Рис.3.7. Схемы включения вентилятора для работы: а – на всасывание; б – на нагнетание; в – по комбинированному варианту

Связь вентилятора с шахтной вентиляционной сетью и атмосферой осуществляется с помощью *вентиляционной установки*, в которую кроме самого вентилятора входят соединительные каналы, клапаны, ляды, регулирующие устройства и другие элементы. В пределах вентиляционной установки можно выделить характерные сечения в потоке воздуха, являющиеся переходными от одной части системы к другой. Сечение 0-0 является границей между вентиляционной установкой и атмосферой, 1-1 и 2-2 – границы между вентиляционной установкой и вентилятором, а 3-3 и 4-4 – границы между вентиляционной установкой и собственно вентиляционной сетью шахты.

Для всех схем включения вентилятора в вентиляционную сеть можно записать выражения баланса механической энергии:

$$\begin{aligned}h_{в.вс} &= h_{1-0} + h_{0-3} + h_{3-2}; \\h_{в.нагн} &= h_{1-4} + h_{4-0} + h_{0-2}; \\h_{в.комб} &= h_{1-4} + h_{4-0} + h_{0-3} + h_{3-2},\end{aligned}\tag{3.2}$$

где $h_{в.вс}$, $h_{в.нагн}$, $h_{в.комб}$ – депрессии вентиляторов, работающих соответственно на всасывание, нагнетание и по комбинированному способу.

Каждое из уравнений (3.2) может быть представлено в виде

$$h_e = h_{ш} + h_{в},\tag{3.3}$$

где h_e – депрессия вентилятора, Па;

$h_{ш}$ – депрессия шахтной сети, Па;

$h_{в}$ – потеря давления в вентиляционной установке, Па.

Совместная работа вентиляторов на сеть

В горной отрасли часто практикуется совместная работа двух или нескольких вентиляторов на вентиляционную сеть шахты. При проектировании системы вентиляции для обеспечения предприятия воздухом предусматривается, как правило, один вентилятор, но по мере работы шахты может возникнуть необходимость изменения основных параметров вентиляции, и выясняется, что эти новые параметры не могут быть обеспечены одним вентилятором. В таком случае задача решается включением в систему проветривания дополнительного вентилятора. Необходимость в этом может возникнуть при реконструкции шахты, при введении в технологическую схему новых стволов или других выработок, при переходе горных работ на более глубокие горизонты, при возрастании депрессии и потребностей в воздухе.

Совместная работа вентиляторов на шахтную сеть может быть последовательной (рис.3.8), параллельной (рис.3.9) и комбинированной (рис.3.10). При комбинированной работе некоторые вентиляторы могут находиться в подземных выработках, чаще всего они выполняют роль вспомогательных.

Выбор варианта совместной работы диктуется необходимостью получения в результате тех или иных параметров по количеству воздуха и давлению.

При последовательной работе через оба вентилятора идет один и тот же воздух, таким образом, их производительности равны, а депрессия сети складывается из парциальных депрессий вентиляторов

$$Q_{B1} = Q_{B2}, H_{III} = H_{B1} + H_{B2}. \quad (3.4)$$

Параллельная совместная работа характеризуется тем, что вентиляторы развивают одинаковую депрессию, а количество воздуха в сети равно сумме их парциальных производительностей

$$Q_{III} = Q_{B1} + Q_{B2}, H_{B1} = H_{B2}. \quad (3.5)$$

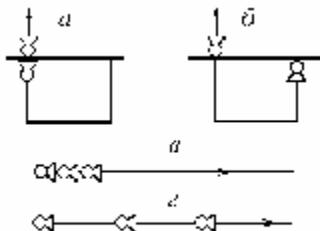


Рис.3.8. Последовательная работа вентиляторов: а – на одном стволе; б – на разных стволах; в – на трубопровод сосредоточенно; г – на трубопровод рассредоточенно

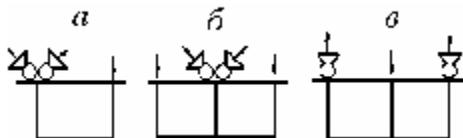


Рис.3.9. Параллельная работа вентиляторов: а, б – на одном стволе; в – на разных стволах

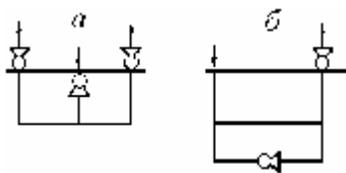


Рис.3.10. Комбинированная работа вентиляторов: а – на разных стволах; б – главного и вспомогательного

Расчет вентиляционного режима выработок, выбор и регулирование режимов совместной работы вентиляторов представляют известные трудности. Это приводит к тому, что во многих случаях на практике вентиляторы работают либо в неустойчивом режиме, либо с чрезвычайно низким коэффициентом полезного действия. Для предупреждения подобных ситуаций совместная работа вентиляторов может быть организована только после проведения предварительного анализа возможности такой работы и выявления необходимых регулировочных параметров, обеспечивающих ее рациональность.

В связи с отсутствием корректных аналитических описаний напорных характеристик вентиляторов, в практике используются графические методы анализа совместной работы.

В зависимости от поставленной задачи, для анализа совместной работы вентиляторов могут применяться:

- F** метод суммарных характеристик вентиляторов;
- F** метод приведенных характеристик вентиляторов;
- F** метод активизированных характеристик сети.

Анализ последовательной совместной работы вентиляторов. Обычно последовательная работа вентиляторов на сеть применяется с целью повышения депрессии, создаваемой вентилятором, об эффективности последовательной работы судят по приросту депрессии от совместной работы по отношению к депрессии, создаваемой одним вентилятором.

Анализ последовательной совместной работы вентиляторов производится с использованием метода суммарных характеристик.

Построение суммарной характеристики ведется с учетом выражений (3.4) сложением частных характеристик вентиляторов по ординатам.

Суммарная характеристика двух вентиляторов одного типа и с одинаковыми параметрами (D , n , θ) получается простым удвоением ординат (рис.3.11,а).

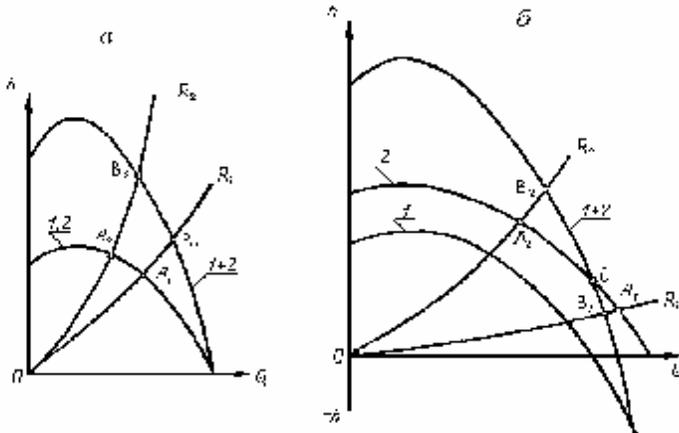


Рис.3.11. Анализ последовательной совместной работы вентиляторов: 1,2 – характеристики вентиляторов; 1+2 – суммарная характеристика; R_1 , R_2 – характеристики вентиляционных сетей

Для построения суммарной характеристики разных по типу и (или) параметрам вентиляторов необходимо построить продолжение напорной характеристики меньшего вентилятора в четвертую четверть системы координат, а при сложении ординат учесть знак достроенного участка характеристики (рис.3.11,б)

Для заключения о рациональности совместной работы на систему координат наносят характеристики вентиляционных сетей, имеющих сопротивления R_1 и R_2 ($R_2 > R_1$). Точки A_1 и A_2 представляют собой режимы работы любого из одинаковых вентиляторов (а) или вентилятора 2 (б) при их одиночной работе на сети R_1 и R_2 . Точки B_1 и B_2 – режимы совместной работы

вентиляторов на те же сети. Анализ представленных случаев совместной работы позволяет сделать выводы:

Ф последовательная совместная работа двух одинаковых вентиляторов всегда устойчива и дает положительный эффект, поскольку депрессии режимов B_1 и B_2 выше депрессий режимов A_1 и A_2 . Целесообразность такой работы возрастает с увеличением сопротивления сети, на которую работают вентиляторы, так как прирост разницы депрессии в режиме B_2 по сравнению с депрессией в режиме A_2 гораздо выше, чем соответствующий прирост у режима B_1 по сравнению с режимом A_1 ;

Ф последовательная совместная работа отличающихся по типу и (или) по параметрам вентиляторов целесообразна только для тех вентиляционных сетей, характеристики которых (R_2) пересекают суммарную характеристику левее и выше точки C . В этом случае целесообразность тем очевиднее, чем выше сопротивление сети. Для вентиляционных сетей, характеристики которых (R_1) пересекают суммарную характеристику вентиляторов правее и ниже точки C , работа меньшего вентилятора (1) вредна. Депрессия, создаваемая большим вентилятором (2) при его одиночной работе на такую сеть в режиме A_1 выше, чем депрессия в режиме B_1 , создаваемая этим вентилятором при совместной работе обоих вентиляторов.

Рассмотренный метод анализа совместной работы применим как для случаев установки вентиляторов на одном стволе, так и на разных стволах, при условии, что через эти вентиляторы проходит одно и то же количество воздуха. Метод применим при последовательной работе и более чем двух вентиляторов, что весьма редко встречается в практике. Суммарную характеристику в этом случае можно строить непосредственным сложением характеристик всех вентиляторов. В сложных случаях, когда характеристики сильно отличаются по форме, можно складывать их поэтапно, т.е. сложить характеристики двух вентиляторов, затем к первой суммарной добавить характеристику третьего вентилятора и так далее.

Анализ совместной параллельной работы вентиляторов.
Параллельная работа вентиляторов может быть организована при

необходимости увеличения количества воздуха в сети. Об эффективности совместной работы в этом случае судят по количеству добавляющегося воздуха.

При анализе используется метод суммарной характеристики, выполняемый в соответствии с принципами, вытекающими из выражений (3.5).

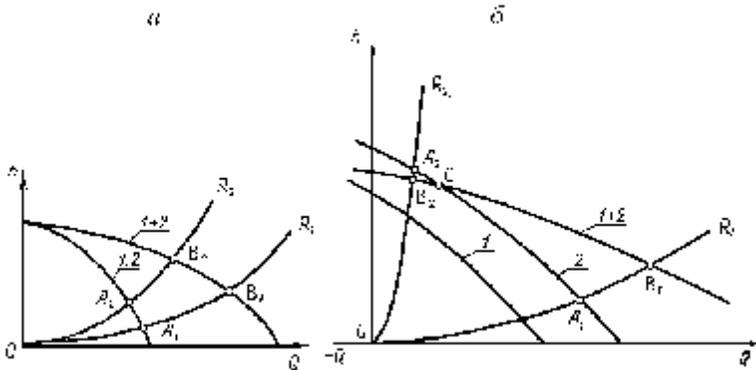


Рис.3.12. Анализ параллельной совместной работы вентиляторов на одном стволе: 1,2 – характеристики вентиляторов; 1+2 – суммарная характеристика; R_1 , R_2 – характеристики вентиляционных сетей

При установке вентиляторов для *параллельной совместной работы на одном стволе*, суммарная характеристика вентиляторов, одинаковых по типу и параметрам, строится путем удвоения абсцисс характеристики вентилятора (рис.3.12,а). При построении суммарной характеристики разных по типу и (или) по параметрам вентиляторов, продлевают характеристику меньшего из них во вторую четверть системы Н- Q и учитывают знак достроенного участка (рис.3.12,б). После нанесения на систему координат характеристик сетей R_1 и R_2 ($R_2 > R_1$) и анализа полученных режимов работы (A_1 , A_2 , B_1 и B_2) выводы выглядят так:

Ф совместная параллельная работа одинаковых вентиляторов всегда устойчива и дает положительный эффект, величина которого растет с уменьшением сопротивления сети – прирост

расхода воздуха от совместной работы на сеть R_1 (режимы A_1 и B_1) гораздо выше, чем на сеть R_2 (режимы A_2 и B_2);

Ф совместная параллельная работа вентиляторов, отличающихся по типу или (и) по параметрам, целесообразна только для тех вентиляционных сетей, характеристики которых пересекают суммарную характеристику на участке правее и ниже точки C . Для сетей, характеристики которых проходят левее точки C , работа меньшего вентилятора (1) вредна. В сеть поступает воздуха меньше, чем при одиночной работе большего (2) вентилятора.

Параллельная работа вентиляторов, установленных на разных стволах (рис.3.13,а) усложняется появлением в сети общего для обоих вентиляторов участка AB и индивидуальных участков B_{CD} и B_{EF} . Методика анализа работы вентиляторов на такую сеть включает элемент перемещения обоих вентиляторов в точку B схемы. В этом случае задача будет сведена к анализу совместной работы на одном стволе, что рассмотрено выше.

Перемещение вентиляторов в любую точку обслуживаемой ими сети возможно с использованием метода *приведенных характеристик*. Суть метода заключается в том, что перемещенный в сети вентилятор будет иметь другую характеристику – *приведенную*. Приведенные характеристики $1'$ и $2'$ (3.13,б) преобразуются из начальных характеристик вентиляторов (1,2) путем вычитания из них по ординатам характеристик соответствующих индивидуальных участков ($R_{B_{CD}}$ и $R_{B_{EF}}$).

Так как после этого задача переходит в плоскость определения режима работы вентиляторов, установленных на одном стволе, определяется суммарная характеристика этих вентиляторов $1'+2'$ как результат сложения приведенных характеристик $1'$ и $2'$ по абсциссам. Точка пересечения суммарной характеристики 3 с характеристикой общего участка R_{AB} – режим совместной работы вентиляторов на сеть. Суммарный расход воздуха в сети определяется абсциссой точки A_3 , парциальные расходы вентиляторов 1 и 2 определяются абсциссами точек A_1 и A_2 соответственно. Рабочими режимами вентиляторов 1 и 2 являются точки P_1 и P_2 , находящиеся на их напорных характеристиках.

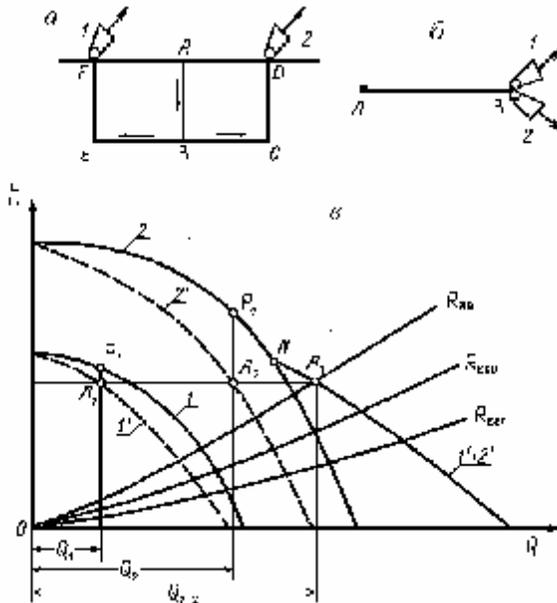


Рис.3.13. Анализ параллельной совместной работы вентиляторов на разных стволах: а – исходная схема работы вентиляторов; б – схема после приведения вентиляторов к т. В; в – анализ совместной работы; 1,2 – характеристики; 1', 2' – приведенные характеристики вентиляторов; 1'+2' – суммарная приведенная характеристика; R_{BCD} , R_{BEF} – характеристики индивидуальных участков; R_{AB} – характеристика общего участка

Анализ графического решения параллельной работы на разных стволах показывает, что такая работа целесообразна и устойчива только в том случае, когда характеристика общего участка АВ пересекает суммарную характеристику вентиляторов на отрезке правее точки N. Эффективность этой работы тем выше, чем меньше сопротивление общего участка сети. Переход точки пересечения A_3 на левый участок суммарной характеристики вызывает неустойчивую работу вентилятора 1, опрокидывая струю на его индивидуальном участке BEF.

Комбинированная совместная работа вентиляторов может быть представлена большим количеством вариантов, отличающихся количеством вентиляторов и местами их установки. Имеет

смысл рассмотреть только принципы графического решения задачи по определению режимов работы вентиляторов на примере одного из этих вариантов.

В качестве примера рассмотрим вентиляционную систему (рис.3.10,б), принятую для проветривания шахты с помощью главного вентилятора, работающего на всасывание, и вспомогательного вентилятора, установленного на одном из двух горизонтов.

В результате решения этой задачи должна быть доказана практическая возможность такого варианта установки вентиляторов в сети и определены параметры режимов их работы.

Основной принцип, заложенный в методику анализа совместной комбинированной работы вентиляторов – приведение схемы к последовательной или параллельной работе вентиляторов на одном стволе и последующее решение этой задачи. Последовательность действий при решении задачи выглядит следующим образом:

Ф начальная схема (рис.3.10,б) представляется в виде, удобном для дальнейших преобразований (рис.3.14,а);

Ф производится упрощение схемы за счет переноса участка 1-2 к участку 3-4 и их объединение. Вентилятор II переносится в точку 2, контур 2-3 размыкается с образованием точек 2 и 2' (рис.3.14,б);

Ф вентилятор I перемещается в точку 3, его напорная характеристика заменяется приведенной, полученной вычитанием из первой по ординатам характеристики участка 3-4-2 " (рис.3.14,в);

Ф из приведенной характеристики вентилятора I вычитается по абсциссам характеристика параллельного участка 2'-3. Поскольку производительность вентилятора I равна сумме расходов 2-3 и 2'-3, в результате вычитания из схемы исключается участок 2'-3. Схема сводится к варианту анализа последовательной работы двух вентиляторов (рис.3.14, г).

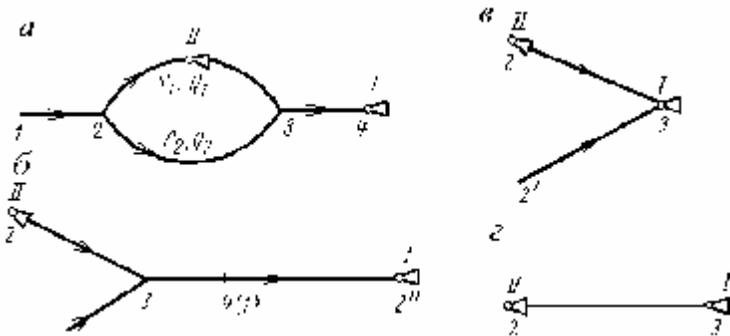


Рис.3.14. Последовательность преобразований схемы (рис.3,10,б) к решению задачи совместной работы главного и вспомогательного вентиляторов: а – представление исходной схемы в удобной для дальнейших действий форме; б – вид после первого упрощения схемы; в – вид после второго упрощения; г – окончательный вид схемы, используемый для анализа

Вспомогательные подземные вентиляторы устанавливаются с целью увеличить расход воздуха в отдельных ветвях или значительной части вентиляционной сети шахты, с целью регулирования распределения воздуха в сети или снижения утечек в определенной области сети. Для получения максимального эффекта от применения вспомогательных вентиляторов в любом случае их необходимо располагать на участках с максимальными потерями энергии вентиляционного потока, т.е. на участках с максимальной депрессией. Чаще всего это выработки, по которым проходит основное количество воздуха.

Вспомогательные вентиляторы могут устанавливаться для работы через перемычку или без перемычки. В первом случае используется полная энергия, передаваемая вентилятором воздушному потоку в форме статического давления и скоростного напора. При работе без перемычки воздушному потоку передается энергия скоростного напора, эффективность использования вентилятора снижается. Выбор того или иного способа установки и использования вентилятора определяется величиной необходимых конечных параметров режима работы вентилятора.

Неправильный выбор параметров и режима работы вспомогательного вентилятора или способа его установки может привести к нежелательным изменениям режима проветривания отдельных выработок или части вентиляционной сети шахты. Чаще всего эти ошибки приводят к рециркуляции потока в выработках, параллельных той, в которой установлен вспомогательный вентилятор.

При принудительном распределении воздуха в шахтных вентиляционных сетях повсеместно возникает ситуация, когда при необходимой подаче воздуха в параллельные участки в количествах Q_1 и Q_2 (рис.3.15) депрессии, обеспечивающие эти расходы, $R_1 Q_1^2$ и $R_2 Q_2^2$ не равны между собой. Это противоречие второму закону вентиляционных сетей вызывает необходимость регулирования в ветвях, одним из вариантов которого и является установка вспомогательного вентилятора. Вспомогательный вентилятор всегда устанавливается на ветви, где для перемещения воздуха требуется большая депрессия.

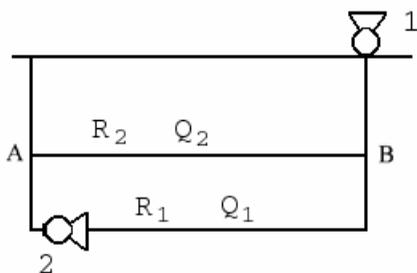


Рис.3.15. Схема к анализу устойчивости работы главного и вспомогательного вентиляторов

Главный вентилятор 1 создает на участке АВ депрессию, достаточную для перемещения по ветви R_2 расхода Q_2 , равную $R_2 Q_2^2$. Необходимая депрессия в ветви R_1 определится как $R_1 Q_1^2$. По условию задачи $R_1 Q_1^2 > R_2 Q_2^2$, т.е. энергии, создаваемой главным вентилятором на участке АВ, недостаточно для перемещения расхода Q_1 в ветви R_1 .

Недостаток энергии в ветви R_1 восполняется энергией вспомогательного вентилятора 2.

После установки вспомогательного вентилятора депрессии параллельных ветвей должны быть одинаковы, и должно соблюдаться условие

$$R_1 Q_1^2 = R_2 Q_2^2 + h_{B2}, \quad (3.6)$$

где h_{B2} – необходимая депрессия вспомогательного вентилятора.

Депрессия, создаваемая на участке главным вентилятором

$$R_2 Q_2^2 = R_1 Q_1^2 - h_{B2}. \quad (3.7)$$

Движение воздуха в ветви R_2 будет направлено от точки А к точке В в том случае, если депрессия этой ветви ($R_2 Q_2^2$) будет положительной или будет выполнено условие

$$R_1 Q_1^2 > h_{B2}. \quad (3.8)$$

При установке подземного вспомогательного вентилятора гарантией отсутствия рециркуляции в параллельных выработках является превышение расчетной величины депрессии в выработке с вентилятором над создаваемой им депрессией.

При $R_1 Q_1^2 = h_{B2}$ в параллельной ветви R_2 движения воздуха не будет.

При $R_1 Q_1^2 < h_{B2}$ воздух в ветви R_2 будет двигаться от точки В к точке А, в контуре появится *рециркуляция*.

В любой шахте *рециркуляция* – *вредное и опасное явление*, тем более, если шахта опасна по газу. Установка вспомогательных вентиляторов без предварительного анализа с положительными результатами *запрещена ПБ*.

Преобразование областей промышленного использования вентиляторов. Изложенные выше методы анализа совместной работы вентиляторов основаны на операциях с частными характеристиками. Эти методы позволяют установить режим проветривания сети и целесообразность совместной работы вентиляторов с установленными или постоянными регулировочными параметрами.

Современные шахтные вентиляторы могут регулироваться в широком диапазоне плавным изменением скорости вращения (ВЦД-32, ВЦД-40, ВЦД-47А «Север») или плавным изменением угла установки лопаток рабочего колеса (осевые вентиляторы).

Кроме этого, большинство вентиляторов имеют дополнительную (тонкую) регулировку в виде поворотных лопаток осевых или промежуточных направляющих аппаратов и поворотных лопаток спрямляющих аппаратов. Некоторые вентиляторы снабжены оригинальными приводами со ступенчатым регулированием скорости вращения (ВЦПД-8, ВЦП-16 и ВРЦД-4,5) или закрылочным регулированием (ВЦЗ-32).

Возможности регулирования отражены в индивидуальных характеристиках вентиляторов, которые обычно представлены в виде областей промышленного использования (ОПИ). ОПИ представляют собой семейства частных характеристик, замкнутые слева границами надежных режимов и справа – границами минимального предельно допустимого КПД.

В рассмотренных выше примерах анализа суммирование характеристик вентиляторов получалось сложением частных характеристик по ординатам или абсциссам. Так как через любую точку ОПИ проходит одна из частных характеристик, соответствующая каким-то регулировочным параметрам, то по тем же правилам можно складывать и области промышленного использования. Отличие заключается только в том, что результат получается не в виде суммарных кривых, а в виде области в плоскости системы координат.

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что при сложении областей промышленного использования результирующей точке, находящейся в преобразованной области, может соответствовать множество точек в исходных областях, эта точка может быть найдена в результате сложения большого количества комбинаций исходных точек.

Так как каждая точка в ОПИ представляет собой режим работы в сети, можно сделать заключение, что один и тот же режим в преобразованной области промышленного использования может быть обеспечен множеством режимов работы каждого вентилятора. Этим заключением вскрывается основное достоинство анализа методом преобразования ОПИ – возможность производить эффективный поиск оптимальных режимов работы вентиляторов на общую сеть шахты.

Простейшим случаем преобразования ОПИ является вариант, когда для совместной работы используются одинаковые вентиляторы, такой вариант часто встречается в практике проветривания тупиковых выработок с помощью ВМП, работающих на один трубопровод параллельно или последовательно. В этом случае для получения суммарной области промышленного использования достаточно удвоить или утроить, в зависимости от числа вентиляторов, ординаты (при последовательной работе) или абсциссы (при параллельной работе) ОПИ исходного вентилятора. Преобразованная ОПИ вытягивается в вертикальном или горизонтальном направлениях.

Эта же задача может быть решена заменой масштаба по оси давлений или по оси расходов, в зависимости от вида совместной работы. Масштаб по нужной оси уменьшается в соответствии с числом работающих вентиляторов, по второй оси масштаб не меняется (рис. 3.16).

Методика построения суммарной области промышленного использования двух разных вентиляторов может быть рассмотрена на примере совместной работы осевого вентилятора ВОД-21 и центробежного вентилятора ВЦ-25 (рис.3.17).

На плоскости системы координат в одном масштабе нанесены исходные ОПИ И1 (ВОД-21) и И2 (ВЦ-25). Естественно, эти области только частично накладываются одна на другую. Суммарная ОПИ для последовательной работы вентиляторов обозначена С1, а для параллельной – С2.

Последовательная работа. Учитывая, что при последовательной работе производительности вентиляторов одинаковы, а депрессии их складываются (3.4), сложение ординат проводят для произвольных производительностей (q_i), обеспечиваемых обоими вентиляторами. Ордината q_{1-q_1} проведена касательно к левой границе ОПИ И2, а ордината q_{2-q_2} – к правой границе этой же ОПИ.

Складывать ординаты обеих ОПИ можно только в диапазоне производительностей q_{1-q_2} , потому что левее и правее этого диапазона ординаты ОПИ И1 просто не с чем складывать.

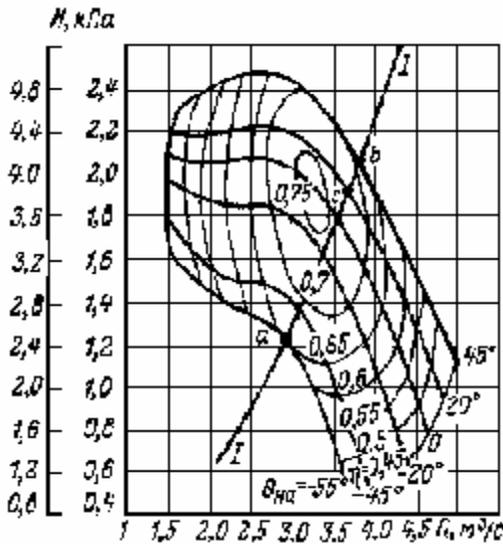


Рис.3.16. Построение области промышленного использования двух одинаковых вентиляторов (ВМ-5М), работающих последовательно, изменением масштаба по оси депрессий

Можно сделать вывод, что суммарная ОПИ S_1 будет всегда располагаться только в этом диапазоне. Нижняя граница зоны S_1 получается сложением нижних границ исходных областей, верхняя граница – сложением верхних границ исходных областей. В связи с тем, что понятия «верхняя» и «нижняя» границы весьма относительно, надо иметь ввиду, что в образовании границ суммарной ОПИ участвуют и ординаты боковых границ областей I_1 и I_2 . Полученный в результате построения контур области охватывает все возможные режимы проветривания, которые могут быть получены при последовательном включении вентиляторов ВД-21 и ВЦ-25.

Параллельная работа. В соответствии с основными принципами параллельной работы, описанными выражением (3.5), построение ОПИ S_2 ведется путем складывания абсцисс исходных областей при произвольных депрессиях h_i .

Диапазон существования области С2 определяется абсциссами h_1-h_1 и h_2-h_2 . Первая из них касательна к нижней границе ОПИ И2 вентилятора ВЦ-25, вторая – к верхней точке ОПИ И1 вентилятора ВОД-21. Принцип построения тот же, что и при построении области С1. В результате построения получается контур области С2, охватывающий все возможные режимы, которые могут быть обеспечены вентиляторами при их совместной параллельной работе.

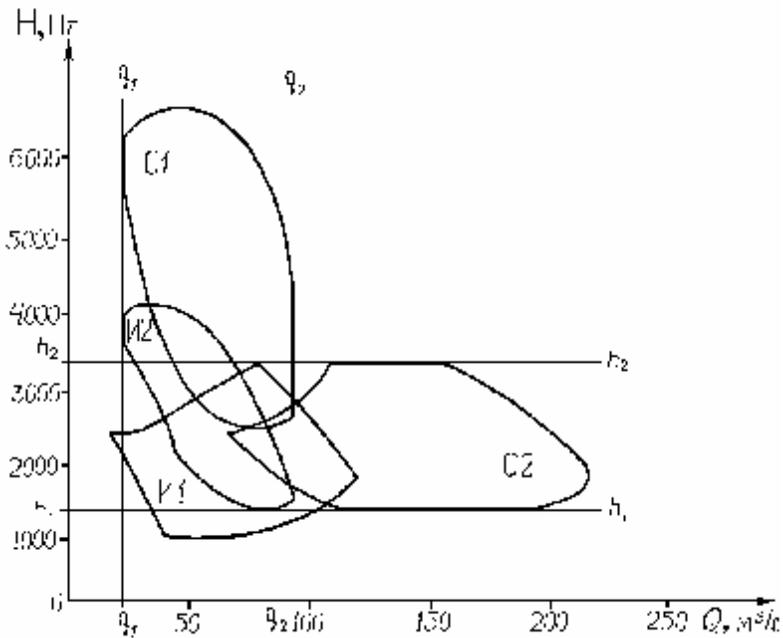


Рис.3.17. Построение суммарных ОПИ двух разных вентиляторов (ВОД-21 и ВЦ-25)

Рассмотренные методы преобразования областей промышленного использования можно применять для любого числа вентиляторов.

Метод преобразования ОПИ позволяет решать большое количество разнообразных задач с определением возможных режимов, определением оптимальных режимов по расходу электроэнергии, определением диапазона величины сопротивления обслуживаемых сетей и многие другие. В пособии не ставилась задача – ознакомить читателя с решением всех возможных вариантов совместной работы, эти вопросы подробно рассмотрены в работе [7].

Работа ВМП на трубопровод большой длины

В горной практике часто возникает необходимость в проведении выработок большой длины с организацией проветривания забоев с помощью ВМП. В этом случае воздух подводится к забою или отводится от него с помощью трубопроводов различного типа. Диаметр труб ограничивается сечением выработки. В этих условиях из-за большого сопротивления трубопровода депрессия, необходимая для перемещения воздуха, достигает значительных величин и не может быть обеспечена одним ВМП.

Решить вопрос можно одним из вариантов:

Ф установкой одного большого вентилятора, обеспечивающего нужные параметры сети;

Ф установкой группы ВМП на начальном участке трубопровода, работающих совместно последовательно (рис.3.8, в). Такой вариант называется каскадным;

Ф вариант рассредоточенной установки ВМП по длине трубопровода (рис.3.8,г);

Ф установка вентиляторов в шлюзовых камерах.

Установка одного большого вентилятора на головном участке трубопровода представляет собой обычный вариант работы вентилятора на сеть и рассчитывается по методике, принятой для расчета ВМП [4]. Следует отметить, что такой вариант в горной практике встречается редко и применяется только при проходке выработок большого сечения.

Каскадный вариант установки вентиляторов применяется на угольных и рудных шахтах. Работа группы ВМП на один трубопровод методически рассматривается как обычный вариант последовательной совместной работы. Расчет параметров такой установки выполняется в следующем порядке:

F определяется сопротивление трубопровода для его полной расчетной длины по заданным параметрам труб (длина звена, диаметр, тип) [4] ;

F определяется необходимая производительность вентиляторной установки с учетом утечек в трубопроводе для его полной расчетной длины;

F определяется депрессия для полной длины трубопровода;

F выбирается марка вентилятора, обеспечивающего необходимую производительность с учетом утечек. Выбор марки вентилятора производится по индивидуальным характеристикам;

F определяется депрессия выбранного вентилятора ($h_{в1}$) при его работе на трубопровод. Режим работы вентилятора определяется точкой пересечения характеристики трубопровода ($R_{тр}$) с перпендикуляром, восстановленным из точки на оси расходов, соответствующей необходимой производительности;

F определяется количество вентиляторов в установке путем деления депрессии трубопровода на депрессию вентилятора в рабочем режиме ($h_{в1}$);

F число необходимых вентиляторов уточняется при построении суммарной характеристики группы ВМП путем последовательного сложения характеристик вентиляторов. Характеристика наращивается до тех пор, пока депрессия в точке пересечения очередной суммарной характеристики с характеристикой трубопровода не превысит необходимую по расчету. Число характеристик, входящих в суммарную – число вентиляторов в группе.

В начальный период проходки на трубопровод устанавливается один вентилятор. Расход на выходе к забою в этом периоде превышает расчетную величину и снижается по мере увеличения длины трубопровода. При снижении расхода до расчетной величины устанавливается второй вентилятор и т.д.

Распредоточенная установка вентиляторов применяется при отсутствии газовыделения в выработке. Каждый из вентиляторов работает на свой индивидуальный участок, величина которого и распределение давления определяются параметрами вентилятора и трубопровода. Возможны три варианта распределения давления (рис. 3.18). В любом случае давление на участке изменяется от максимального на выходе из вентилятора, до минимального у входа в последующий вентилятор.

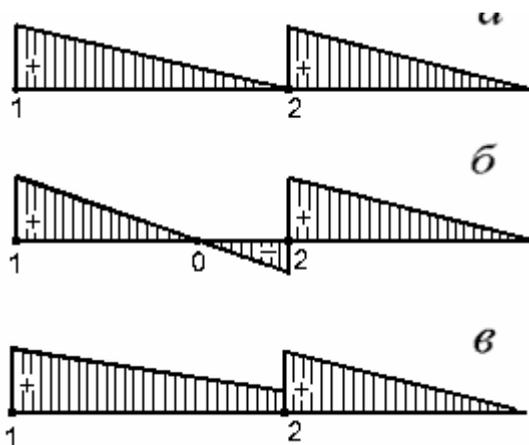


Рис. 3.18. Распределение давления в трубопроводе в зависимости от расстояния между вентиляторами: 1,2 – места установки предыдущего и последующего вентиляторов; 0 – точка смены знака давления в трубопроводе для варианта «б»

В лучшем из вариантов «а» напор предыдущего вентилятора 1 полностью используется на его участке. Однако при этом существует опасность, в силу произвольных нарушений равновесия давлений, перехода схемы на работу по варианту «б», со всеми последствиями.

В варианте «б» напор вентилятора 1 используется на участке 1-0, на участке 0-2 воздух перемещается за счет разрежения, создаваемого вентилятором 2. Вариант чреват возможностью подсоса воздуха на участке 0-2, т.е. возникновением рециркуляции на участке вентилятора 2. В этом варианте невозможно применение мягких труб.

В последнем варианте «в» на участке 1-0 используется не весь напор вентилятора 1, т.е. вентилятор 2 работает с «подпором» на всасывающей стороне (H_n).

Установка вентиляторов в шлюзовых камерах применяется крайне редко в связи с необходимостью проведения специальных камер, установки шлюзовых устройств высокой степени герметизации. Область применения этого варианта – выработки с большим сечением и сложной технологией проведения.

При любом варианте установки ВМП одним из главных параметров является расстояние между вентиляторами. Расчет этого параметра не представляет особого труда, – расстояние между вентиляторами находится аналитическим или графическим путем по методикам, подробно изложенными в работах [7,12].

Вопросы для самоконтроля

1. Как графическим путем найти режим работы вентилятора на сеть?
2. Выполнение каких требований к режиму работы вентилятора гарантирует его устойчивость?
3. Какими методами можно регулировать режим работы осевого вентилятора? Центробежного?
4. Перечислите возможные способы работы вентилятора на шахтную сеть.
5. Назовите виды совместной работы вентиляторов на сеть.
6. Каким путем решается вопрос о возможности и целесообразности совместной работы вентиляторов? Какие способы анализа представляют интерес для шахтных сетей?
7. Приведите порядок анализа совместной работы главного и вспомогательного вентиляторов.
8. Как построить ОПИ совместной работы одинаковых по параметрам вентиляторов? Разных по параметрам?
9. Какими вариантами установки вентиляторов решается вопрос проветривания протяженных тупиковых выработок?
10. Какие условия рассредоточенной установки вентиляторов надо соблюдать для обеспечения надежного проветривания?



Глава 4

Вентиляторы главного и местного проветривания

В большинстве систем проветривания угольных и рудных шахт страны в качестве главных вентиляторов работают вентиляторы, выпускавшиеся отраслью в течение последних 20-25 лет на основе научных разработок ведущих научно-исследовательских институтов – ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского, ИГМТК им. А.М. Федорова, Донгипроуглемаш, НИПИГормаш и других.

Каждая из моделей вентиляторов занимает определенное место в своей серии, имеет свои достоинства и недостатки, обладает определенными возможностями по регулированию параметров и особенностями конструкции, установки, условиями эксплуатации по климатическим факторам. Некоторые модели имеют свой оригинальный привод.

В предлагаемой главе приведен комплекс сведений о современных шахтных вентиляторах.

Осевые вентиляторы главного проветривания

Первые в нашей стране разработки аэродинамических схем осевых вентиляторов выполнены Центральным аэрогидродинамическим институтом в конце двадцатых годов, а первые вентиляторы, выполненные на основе этих разработок в виде промышленных серий, появились в середине тридцатых прошлого столетия.

Осевые вентиляторы в годы развития горной промышленности страны получили широкое распространение в связи с несомненными достоинствами этого типа – большой производительностью при сравнительно низкой депрессии, компактностью и простотой их установки и эксплуатации.

Применяющиеся в настоящее время осевые вентиляторы естественно превосходят первые разработки по многим параметрам. Разновидности моделей и их размеры позволяют применять этот тип вентиляторов в самых различных целях. Они могут быть использованы для проветривания одиночной выработки, для проветривания части шахты или для работы в качестве главного вентилятора на крупной шахте. Ряд типоразмеров осевых вентиляторов охватывает диапазон диаметров рабочих колес $300 \div 5000$ мм.

Модели осевых вентиляторов принято шифровать с помощью букв и цифр. Буквы в шифре вентилятора обозначают: В – вентилятор, О – осевой, Д – двухступенчатый, К – крученые лопасти рабочего колеса, Р – реверсивный, М – модернизированный; цифра – диаметр рабочего колеса в дециметрах (ВОД-11) или метрах (ВОКР-1,8).

В пособии рассмотрены конструкции вентиляторов серий ВОКД и ВОД, применяемых в настоящее время на шахтах. Сведения о технических параметрах вентиляторов и их аэродинамические характеристики приведены в Приложениях 1 и 2.

Осевые вентиляторы серии ВОКД. Основой для разработки вентиляторов этой серии послужила аэродинамическая схема К-0,6 ЦАГИ. В серию входят вентиляторы ВОКД-1,0; ВОКД-1,5; ВОКД-1,8; ВОКД-2,4; ВОКД-3,0 и ВОКД-3,6. Производительность вентиляторов этой серии составляет $300 \div 22000$ м³/мин, депрессия – $0,6 \div 4,8$ кПа.

Вентиляторы серии имеют так называемые «крученые» лопасти. По мере удаления от венца рабочего колеса к периферии сечения лопасти поворачиваются одно относительно другого, угол установки лопасти на рабочем колесе возрастает к ее концу. В связи с изменением угла поворота лопасти для разных сечений по высоте, *он отсчитывается для сечения, находящегося на радиусе, равном $0,4D_2$* . Крученые лопасти обеспечивают более высокий коэффициент полезного действия вентилятора.

Поскольку вентиляторы серии двухступенчатые, они имеют промежуточный направляющий аппарат, находящийся между

первым и вторым рабочими колесами, спрямляющий аппарат – за вторым рабочим колесом по ходу струи при прямой работе.

Регулирование режимов работы вентиляторов серии осуществляется индивидуальным поворотом лопаток на неработающем вентиляторе через специальные люки в кожухе. Можно грубо регулировать режим работы вентилятора снятием части лопаток (обычно через одну) с рабочего колеса. Этим приемом пользуются для получения малой производительности вентилятора в начальном или конечном периодах эксплуатации шахты.

Одним из свойств осевых вентиляторов является изменение направления потока воздуха при изменении направления вращения рабочего колеса. Однако параметры реверсированной таким образом струи у вентиляторов серии ВОКД не удовлетворяют требованиям Правил безопасности ($O_{рев} \geq 0,6 O_{прям}$), поэтому реверсирование струи осуществляется с помощью каналов и ляд, т.е. с помощью реверсивной установки.

Внутри серии вентиляторы различаются только размерами, скоростью вращения, приводными двигателями и конструкциями некоторых узлов и деталей:

ВОКД-1,0 – может применяться для проветривания проводимых выработок большого сечения, на калориферных установках шахт и в качестве главного для шахт с расходом воздуха до $1200 \text{ м}^3/\text{мин}$ и эквивалентным отверстием $0,3 \div 0,6 \text{ м}^2$.

В конструкции отсутствует упорный подшипник на валу ротора, направляющий аппарат состоит из неподвижных лопаток, приваренных к наружному и промежуточному корпусам.

Привод осуществляется асинхронным электродвигателем А-91-4 со скоростью вращения 1500 мин^{-1} (здесь и далее приведена синхронная скорость вращения двигателей) и мощностью $75,0 \text{ кВт}$.

ВОКД-1,5 – применяется в качестве калориферного и главного на шахтах и рудниках с потребностью в воздухе, не превышающей $3000 \text{ м}^3/\text{мин}$ и эквивалентным отверстием $0,6 \div 1,2 \text{ м}^2$.

По конструкции от предыдущей модели отличается только размерами и приводом. Работает с асинхронным электродвигателем А-103-6М, имеющим скорость вращения 1000 мин^{-1} .

ВОКД-1,8 – применяется в качестве главного на шахтах с расходом воздуха до $5500 \text{ м}^3/\text{мин}$ и эквивалентным отверстием $0,7 \div 2,0 \text{ м}^2$. От предыдущих моделей отличается наличием упорного подшипника на валу. В качестве привода применяются синхронные двигатели с пусковой обмоткой СД-12-46-8А и СД-13-42-6А, работающие со скоростями соответственно 750 и 1000 мин^{-1} и имеющие мощности 320 и 575 кВт . Можно применять асинхронный двигатель АО-103-6МУ2 (560 кВт и 1000 мин^{-1}). Двигатели соединяются с валом с помощью зубчатой муфты.

ВОКД-2,4 – применяется в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до $10000 \text{ м}^3/\text{мин}$ и эквивалентным отверстием $1,3 \div 3,6 \text{ м}^2$.

В конструкции предусмотрены самоустанавливающиеся опоры вала со сдвоенными радиально-упорными подшипниками. В отличие от предыдущих вентиляторов предусмотрено тонкое регулирование режима работы с помощью поворачивающихся хвостовых частей лопаток промежуточного направляющего аппарата. Тонкое регулирование на ходу вентилятора производится специальным приводным механизмом с помощью электродвигателя или вручную.

Вентилятор комплектуется синхронным электродвигателем с дополнительной пусковой обмоткой. Скорость вращения 600 или 750 мин^{-1} .

ВОКД-3,0 – применяется в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до $15000 \text{ м}^3/\text{мин}$ и эквивалентным отверстием $1,8 \div 5,5 \text{ м}^2$. Может развивать значительную депрессию ($1,3 \div 4,5 \text{ кПа}$).

По конструкции от ВОКД-2,4 отличается только размерами узлов, деталей и приводом. В качестве привода используется синхронный электродвигатель, дополненный пусковой обмоткой, имеющий скорость вращения 600 мин^{-1} .

ВОКД-3,6 – применяется в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до $22000 \text{ м}^3/\text{мин}$ и эквивалентным отверстием $2,7 \div 8,0 \text{ м}^2$. Развивает значительную депрессию ($0,8 \div 4,7 \text{ кПа}$). По конструкции от предыдущего вентилятора отличается только размерами узлов, деталей и приводом.

В качестве последнего применяется синхронный электродвигатель, дополненный пусковой обмоткой, имеющий скорость вращения 375 или 500 мин⁻¹.

ВОКР-1,8 – применяется в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до 5500 м³/мин и эквивалентным отверстием 0,6÷1,8 м². Развивает депрессию в диапазоне 0,6÷4,4 кПа.

Конструктивно вентилятор выполнен на базе серии ВОКД, в отличие от других вентиляторов серии *является реверсивным*.

Необходимые параметры при реверсивной работе вентилятора обеспечиваются спрямляюще-направляющим аппаратом СНАР, расположенным между рабочими колесами вентилятора. Лопатки этого аппарата выполнены из эластичного материала, армированы и могут менять направление вогнутости в зависимости от направления потока воздуха в кожухе вентилятора. При нормальной работе лопатки СНАР обращены выпуклостью в сторону вращения колес и обеспечивают наивыгоднейший угол входа потока на лопатки рабочего колеса второй ступени. После остановки вентилятора и пуска его в обратном направлении, лопатки должны обеспечивать выгодный угол входа потока к лопаткам рабочего колеса, бывшего первым при нормальной работе. Для этого лопатки СНАР разворачиваются к потоку своей хвостовой частью, но, несмотря на это, за счет изменения вогнутости обеспечивают высокую эффективность с точки зрения входа потока на рабочее колесо. Изменение вогнутости производится одновременно на всех лопатках с помощью специального вилкообразного водила. Применение СНАР при реверсировании потока позволяет достигнуть производительности, составляющей от 60 до 74% прямого потока, что соответствует требованиям ПБ.

В качестве привода вентилятора используются асинхронные двигатели АК-113-8А (200 кВт) или АК-114-6М (500 кВт), имеющие скорости вращения соответственно 750 и 1000 мин⁻¹.

Технические и аэродинамические характеристики вентиляторов приведены в Приложениях.

Осевые вентиляторы серии ВОД. Серия ВОД разработана на основе аэродинамической схемы ЦАГИ К-84. Вентиляторы

отличаются высокими показателями режимов работы, сравнительной компактностью, простотой устройства и обслуживания.

Все вентиляторы выпускаются для использования в качестве стационарных установок. Исключение составляет вентилятор ВОД-11, который может быть использован в качестве стационарного вентилятора или как передвижной.

Все вентиляторы в серии являются двухступенчатыми, их конструкция позволяет производить регулирование режимов работы путем поворота лопаток рабочего колеса или снятием части этих лопаток с венца.

Вентиляторы серии *реверсивные* – изменение направления потока происходит с изменением направления вращения рабочего колеса, при этом выдерживаются все требования ПБ.

Все основные узлы вентиляторов этой серии размещены в цилиндрическом корпусе (рис.4.1). Между рабочими колесами первой и второй ступеней и за колесом второй ступени располагаются поворотные профильные лопатки направляющего и спрямляющего аппаратов. В отличие от лопаток вентилятора ВОКР они выполнены жесткими и имеют форму сечения в виде крыла. Изменение направления вогнутости достигается поворотом лопатки в положение, обеспечивающее эффективный вход потока на лопатки рабочего колеса.

При прямой работе лопатки промежуточного направляющего аппарата устанавливаются под углами $75 \div 30^\circ$ (разница в углах установки появляется при проведении тонкой регулировки).

При осуществлении реверса потока лопатки разворачиваются почти на 180° , носик профиля лопатки при этом должен быть обращен к рабочему колесу второй ступени, а угол между хордой профиля и осью вентилятора должен составлять 78° (у вентилятора ВОД-40 – 105°).

Одновременный поворот лопаток направляющего аппарата, как при грубой регулировке рабочих режимов, так и при реверсировании, осуществляется с помощью приводного механизма специальным сервомотором. Контроль разворота лопаток ведется по специальным меткам на приводных барабанах поворотного механизма.

Схема автоматики поворотного механизма вентилятора для контроля углов установки лопаток промежуточного направляющего аппарата оснащена концевыми выключателями, фиксирующими необходимые углы для прямой и реверсивной работы. Промежуточные положения между углами 35° и 75° при тонкой регулировке схемой автоматики не предусмотрены и устанавливаются визуально.

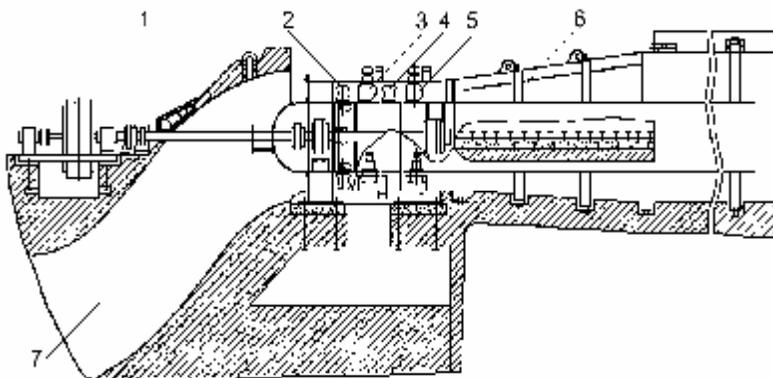


Рис. 4.1. Вентилятор серии ВОД-40: 1 – приводной двигатель; 2 – рабочее колесо первой ступени; 3 – промежуточный направляющий аппарат (НА); 4 – рабочее колесо второй ступени; 5 – выходной спрямляющий аппарат (СА); 6 – диффузор; 7 – входной коллектор

В связи с необходимостью быстрой остановки вентилятора при переходе на реверсивный режим, вентиляторы серии ВОД комплектуются колодочными тормозами, установленными в районе зубчатой муфты.

Все вентиляторы ВОД комплектуются устройством для замера производительности в виде воздухо-замерной трубки, установленной на кожухе перед рабочим колесом первой ступени.

Вентиляторы серии могут работать эффективно как на нагнетание, так и на всасывание.

ВОД-11 – применяется для установки на калориферы или в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до 1800

м³/мин и эквивалентным отверстием $0,3 \div 0,85$ м². При этом развивает депрессию $1,1 \div 3,7$ кПа, максимальный КПД – $0,81$.

Режим работы регулируется поворотом лопаток рабочего колеса в диапазоне $15 \div 45^\circ$, поворот осуществляется для каждой лопатки индивидуально через люк в кожухе.

Вентилятор комплектуется асинхронным двигателем мощностью 100 кВт и скоростью вращения 1500 мин⁻¹.

Модификация этого вентилятора **ВОД-11П** отличается от базового вентилятора повышенными эксплуатационными параметрами и приводным двигателем (АО-101-4М).

ВОД-16 – применяется для работы на калорифере или в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до 4000 м³/мин и эквивалентным отверстием $0,37 \div 1,87$ м². Развивает депрессию $0,9 \div 4,3$ кПа.

Вентилятор ВОД-16 (рис.4.2) отличается от остальных в серии одной интересной и важной особенностью – это вентилятор так называемого «встречного» вращения.

В вентиляторах серии ВОД лопатки направляющих аппаратов направляют воздушный поток, как в прямом режиме, так и в реверсивном на рабочее колесо второй ступени по ходу с наиболее благоприятными углами входа. Этот же эффект можно получить без промежуточного направляющего аппарата за счет вращения рабочих колес первой и второй ступеней навстречу друг другу. При этом производительность реверсивного режима составляет $60 \div 74\%$ производительности прямого режима. Достоинством такого способа решения вопроса является упрощение конструкции вентилятора, выраженное в отсутствии направляющего и спрямляющего аппаратов и малой раскрутке воздушного потока за вторым рабочим колесом по ходу потока. Недостатком является необходимость в установке второго вала и второго привода.

Рабочие колеса первой и второй ступеней различаются по конструкции, колесо первой ступени, считая от коллектора, имеет 12 лопаток, а второй – 10.

Регулирование рабочего режима вентилятора осуществляется поворотом лопаток рабочих колес на остановленном вентиляторе через люки в корпусе.

Диффузор вентиляторов встречного вращения (ВВВ) отличается одной особенностью конструкции. В основном конусе диффузора располагается малый конус, в котором находится вал второго двигателя и одна из опор этого вала. Воздушный поток движется в пространстве между конусами.

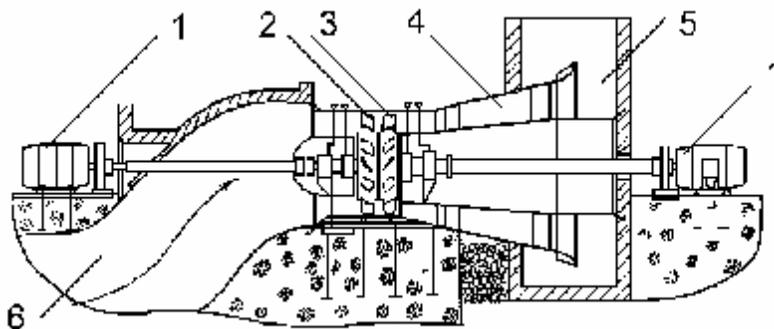


Рис.4.2. Вентилятор ВВД-16: 1 – приводной двигатель; 2 – рабочее колесо первой ступени по ходу струи при прямой работе; 3 – рабочее колесо второй ступени; 4 – диффузор; 5 – выходной канал; 6 – входной коллектор

Аэродинамические характеристики вентилятора построены для строго определенных сочетаний углов установки лопаток первой и второй ступеней. Это сочетание может быть представлено в виде ряда отношений, в которых числитель – угол установки лопатки на роторе первой ступени в градусах, знаменатель – второй ступени: 16/12, 20/15, 25/19, 30/23, 35/27, 40/31, 44/35. На валу каждой ступени имеется колодочный тормоз.

Вентилятор комплектуется двумя синхронными двигателями модели СД-2-42-6, имеющими мощность по 160 кВт каждый и скорость вращения 1000 мин^{-1} .

Модификация **ВВД-16П** имеет отличия в комплектации и оснащена другим двигателем (АО-103-6М)

ВВД-18 – является промежуточной моделью с применением в качестве главного вентилятора для шахт с потребностью в воздухе до $4500 \text{ м}^3/\text{мин}$ и эквивалентным отверстием $0,7 \pm 2,0 \text{ м}^2$. Выполнен по стандартной аэродинамической схеме вентиляторов

ВОД. Развивает депрессию $1,0 \div 4,5$ кПа. Статический коэффициент полезного действия в рабочей зоне 0,83. Комплектуется двигателем А4-450К-6УЗ.

ВОД-21 – применяется для работы в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до $6500 \text{ м}^3/\text{мин}$ и эквивалентным отверстием $0,77 \div 2,90 \text{ м}^2$. Выполнен по стандартной аэродинамической схеме вентиляторов ВОД. Развивает депрессию $0,8 \div 3,4$ кПа. Статический коэффициент полезного действия в рабочей зоне $0,6 \div 0,8$.

Имеет направляющий и спрямляющий аппараты, состоящие из 14 поворотных лопаток.

Реверсирование воздушного потока производится изменением направления вращения приводного двигателя с одновременным изменением угла установки лопаток направляющего и спрямляющего аппаратов на угол $153 \div 158^\circ$ с помощью поворотного механизма.

Регулирование рабочих режимов осуществляется индивидуальным поворотом рабочих лопаток в пределах $15 \div 45^\circ$ на остановленном вентиляторе через люки в корпусе. Для значительного снижения показателей режима работы вентилятора возможно снятие до 6 лопаток с венца второй ступени.

Тонкое регулирование выполняется одновременным поворотом лопаток направляющего аппарата в диапазоне $5 \div 10^\circ$ на работающем вентиляторе с помощью поворотного механизма или вручную.

Осевые нагрузки на валу компенсируются радиально-упорным подшипником.

Вентилятор оборудован колодочным тормозом.

Комплектуется синхронным двигателем СД2-85/47-8УХЛ4, имеющим мощность 500 кВт и скорость вращения 750 мин^{-1} . Может работать с двигателем со скоростью вращения 600 мин^{-1} .

Модификация вентилятора **ВОД-21М** имеет более широкий диапазон рабочих расходов и комплектуется двигателем СД2-85/47-897.

ВОД-30 – применяется для работы в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до $13500 \text{ м}^3/\text{мин}$ и эквивалентным

отверстием $1,6 \div 5,73 \text{ м}^2$. Имеет стандартную аэродинамическую схему и конструкцию, аналогичную ВОД-21. Регулирование, реверсирование и другие эксплуатационные работы выполняются по принятому для серии стандарту.

Вентилятор комплектуется синхронным двигателем СДВ-15-49-12 с мощностью 800 кВт и скоростью вращения 500 мин^{-1} .

ВОД-40 – применяется для работы в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до $22000 \text{ м}^3/\text{мин}$ и эквивалентным отверстием $2,4 \div 10,7 \text{ м}^2$.

Отличается от ВОД-30 размерами узлов и деталей и некоторыми особенностями конструкции.

На рабочих колесах обеих ступеней по 12 лопаток.

Направляющий аппарат состоит из 14 поворотных лопаток, используется для реверса и регулирования. Привод разворота лопаток направляющего аппарата аналогичен приводу всех вентиляторов серии.

Имеет регулируемый спрямляющий аппарат, расположенный между рабочим колесом второй ступени и диффузором. Спрямляющий аппарат состоит из 14 лопаток и приводного устройства, аналогичного приводному устройству направляющего аппарата. Лопатки спрямляющего аппарата в нормальном режиме устанавливаются под углом 75° по корневому сечению к плоскости вращения колес. Поворачиваются на 160° и устанавливаются под углом 85° к плоскости вращения колес только при реверсировании потока воздуха.

В качестве приводных могут применяться синхронные двигатели СДС3-17-41-16У4, СДС3-17-49-16У4 с дополнительной пусковой обмоткой или асинхронный двигатель АКН2-19-33-16У4 с мощностью 1600 кВт и скоростью вращения 375 мин^{-1} .

ВОД-50 – применяется для работы в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до $34000 \text{ м}^3/\text{мин}$ и эквивалентным отверстием $4,6 \div 16,7 \text{ м}^2$.

Конструкция, способы регулирования и реверсирования практически те же, что и у вентилятора ВОД-40.

Привод осуществляется синхронным двигателем СДС3-18-39-20У4 защищенного исполнения с самовентиляцией. Мощность

двигателя – 2000 кВт, скорость вращения – 300 мин⁻¹. Двигатель снабжен дополнительной пусковой обмоткой, обеспечивающей прямой пуск от полного напряжения сети 6 кВ в асинхронном режиме. Пуск выполняется при закрытом направляющем аппарате.

Центробежные вентиляторы главного проветривания

Принцип работы и конструкция центробежных вентиляторов разработаны и впервые применены русским инженером А.А. Саблуковым в 1832 г. Им был построен и применен вентилятор для работы на Чигиринском руднике Алтая.

Однако разработка современных шахтных центробежных вентиляторов в свое время отставала от разработок осевых вентиляторов, поскольку центробежные вентиляторы хорошо работают в случае необходимости высоких депрессий, в чем в первый период развития подземной добычи полезных ископаемых особой нужды не было.

В настоящий момент центробежные вентиляторы получили широкое распространение в связи с возросшими глубиной шахт и аэродинамическим сопротивлением их сетей.

Применяемые в отрасли модели центробежных вентиляторов охватывают ряд типоразмеров с величиной диаметра рабочего колеса от 0,8 до 5,0 м. Название вентилятора и некоторые основные параметры и свойства шифруются в буквенных и цифровых обозначениях по аналогии с осевыми. Буква в шифре обозначает: В – вентилятор, Ц – центробежный, Д – двустороннего всасывания, Р – рудничный, Ш – шурфовой, П – проходческий, З – с закрылками на рабочем колесе, М – модернизированный; цифра в шифре модели обозначает размер диаметра рабочего колеса в дециметрах (ВЦ-11М) или метрах (ВЦРД-4,5).

Сведения о технических параметрах вентиляторов и их аэродинамические характеристики приведены в Приложениях.

Центробежные вентиляторы малых размеров. К этой группе относятся вентиляторы ВЦПД-8, ВЦ-11, ВЦ-16, ВЦП-16 и

ВЩЦ-16, развивающие производительность $350 \div 2700 \text{ м}^3/\text{мин}$ и депрессию – $1,1 \div 9,2 \text{ кПа}$.

Вентиляторы этой группы монтируются на специальной раме на заводе-изготовителе и в собранном виде доставляются к месту использования.

Все вентиляторы имеют осевой направляющий аппарат (ВЦПД-8 – два), используемый для регулирования рабочих режимов. Направляющий аппарат представляет собой отдельный корпус, в котором в специальных опорах и обтекателе установлены на подшипниках поворотные лопатки. С помощью специального приводного кольца лопатки вручную или электроприводом могут одновременно поворачиваться на угол $0 \div 90^\circ$. При положительных углах поворота воздух при проходе через направляющий аппарат закручивается в сторону вращения рабочего колеса, увеличивая коэффициент полезного действия вентилятора. Увеличение угла установки лопаток приводит к снижению производительности вентилятора. При установке лопаток на угол 0° , подкрутки потока не происходит, так как плоскость лопатки параллельна оси потока. При установке лопаток на угол 90° входное сечение коллектора полностью перекрывается, этот прием используется для разгрузки вентилятора при его пуске. У вентиляторов этой группы предусмотрен рабочий режим с отрицательным углом поворота лопаток до -10° . В этом случае поток воздуха подкручивается в направлении, обратном вращению рабочего колеса, что позволяет увеличить развиваемое вентилятором давление. Рабочие режимы вентилятора на практике выполняются при углах поворота лопаток направляющего аппарата в диапазоне $-10 \div +60^\circ$.

ВЦПД-8 – предназначен для проветривания проводимых выработок большого сечения – стволов, тоннелей, выработок околотвальных дворов и т.п.

Вентилятор имеет двустороннее всасывание, оснащен устройством для реверсирования воздушной струи, укомплектован двумя асинхронными двигателями с разными скоростями вращения (3000 и 1500 мин^{-1}). Последнее обстоятельство позволяет производить грубую регулировку рабочих режимов сменой

скорости вращения рабочего колеса. Работает с трубопроводами диаметром 700, 800 и 900 мм.

ВЦ-11 – выполнен по аэродинамической схеме Ц35-20, применяется для установки в качестве главного на вентиляционных выработках (шурфах) шахт, имеющих эквивалентное отверстие в диапазоне $0,1 \div 0,65 \text{ м}^2$, для работы в качестве калориферного или других промышленных целей.

Комплектуется асинхронным двигателем со скоростью вращения 1500 мин^{-1} .

Разработана модернизированная модель **ВЦ-11М** с измененной шириной рабочего колеса по аэродинамической схеме Ц35-15.

ВЦ-16 – выполнен по аэродинамической схеме Ц35-20, применяется для установки в качестве главного для шахт, имеющих эквивалентное отверстие в диапазоне $0,3 \div 1,3 \text{ м}^2$.

Комплектуется асинхронным двигателем со скоростью вращения 1000 мин^{-1} .

ВЦП-16 – выполнен по аэродинамической схеме Ц35-20, применяется для проветривания проводимых выработок большого сечения, в том числе вертикальных стволов.

Имеет реверсивное устройство. Хорошо согласовывается с трубопроводами диаметром 800, 900 и 1000 мм.

Комплектуется двумя электродвигателями со скоростью вращения 1000 и 1500 мин^{-1} , обеспечивающими грубую регулировку рабочих режимов. По заказу потребителя может быть укомплектован асинхронным двигателем АО-114-12/8/6/4, обеспечивающим скорости вращения $500/750/1000/1500 \text{ мин}^{-1}$ с соответствующими оборотам мощностями 200, 120, 90 и 60 кВт.

ВЩЦ-16 – выполнен по аэродинамической схеме Ц35-20, применяется для установки в качестве главного для шахт, имеющих эквивалентное отверстие в диапазоне $0,24 \div 1,4 \text{ м}^2$ или для работы на калориферной установке.

Комплектуется асинхронным двигателем со скоростью вращения 1000 мин^{-1} .

Центробежные вентиляторы средних размеров. В эту группу, естественно условно, отнесены вентиляторы ВЦ-25, ВЦ-32 (ВЦ-31,5М) и ВЦЗ-32 (ВЦ-31,5П).

Основные параметры вентиляторов этой группы: диаметр рабочего колеса – 2500 ÷ 3200 мм, производительность – 1800 ÷ 10000 м³/мин, депрессия – 1,6 ÷ 7,0 кПа.

В эту группу не включен вентилятор ВЦД-32, поскольку по своим параметрам, конструкции и эксплуатационным характеристикам он ближе к группе крупных центробежных вентиляторов.

Вентиляторы группы применяются на шахтах только в качестве главных, поскольку являются машинами стационарного типа. При монтаже их конструктивные элементы жестко связываются с фундаментом, часть элементов выполняется в бетоне.

Все вентиляторы группы снабжены осевым направляющим аппаратом в виде цилиндрического корпуса, в котором размещены радиально 12 профильных поворотных лопаток. Наружные цапфы лопаток закреплены в опорах, размещенных на корпусе. Внутренние цапфы входят в обтекатель. Одновременный плавный поворот лопаток осуществляется с помощью приводной колонки, в свою очередь разворачиваемой электродвигателем с редуктором. Угол поворота может задаваться в пределах от 0 до 90°. При установке лопаток в положение, соответствующее 0° (лопатки параллельны оси потока) закручивания потока не происходит. При установке лопаток в положение, соответствующее 90° – лопатки полностью перекрывают входное отверстие, приближая производительность к нулю. Этот прием используется для разгрузки вентилятора в момент его пуска. В промежуточных положениях от 0 до 90° лопатки закручивают поток в сторону вращения рабочего колеса, в этом диапазоне регулируются рабочие режимы вентиляторов.

Поворотный механизм направляющего аппарата позволяет разворачивать лопатки вентиляторов ВЦ-25, ВЦ-32 и ВЦЗ-32 на отрицательный угол, с целью повышения величины депрессии на выходе.

ВЦ-25 – выполнен по аэродинамической схеме Ц35-15. Рабочее колесо имеет 8 профильных лопаток, приваренных к

коренному и покрывному дискам. Рабочие режимы вентилятора задаются поворотом лопаток направляющего аппарата в диапазоне $-30 \div +60^\circ$. Привод поворота лопаток направляющего аппарата управляется дистанционно или вручную.

Вентилятор комплектуется синхронным двигателем, имеющим скорость вращения 750 мин^{-1} , может работать с двигателем, имеющим скорость вращения 600 мин^{-1} в режимах с пониженными расходом и депрессией.

Модификация вентилятора **ВЦ-25М** обладает повышенной подачей и депрессией.

ВЦ-32 – разработан на основе аэродинамической схемы Ц35-15. По сравнению с вентилятором ВЦ-25 имеет изменения в конструкции входа воздуха в коллектор, позволяющие расположить рабочее колесо на валу между двумя опорами, т.е. снизить вибрации и сделать работу вентилятора более устойчивой.

Рабочие режимы вентилятора задаются поворотом лопаток направляющего аппарата в диапазоне углов $-25 \div +60^\circ$. Поворот лопаток осуществляется дистанционно электроприводом или вручную.

Привод вентилятора может осуществляться синхронным двигателем с дополнительной пусковой обмоткой или асинхронным двигателем с фазным ротором. Двигатель может иметь скорость вращения 500 или 600 мин^{-1} .

В 1973 г. после модернизации вентилятору присвоен новый шифр – ВЦ-31,5. Изменена конструкция опор подшипников вала.

В 1976 г. проведена новая модернизация, выразившаяся в дальнейшем усилении узлов подшипников и изменением конструкции поворотного механизма направляющего аппарата. Вентилятору присвоен шифр ВЦ-31,5М.

ВЦЗ-32 – отличается от базового вентилятора ВЦ-32 конструкцией рабочего колеса.

На рабочем колесе вентилятора установлены восемь укороченных лопаток, имеющих специальные поворотные части – закрылки. Закрылки могут разворачиваться по отношению к основной части лопатки на фиксированный с помощью системы валиков и отверстий угол. Таких фиксированных положений система

закрылков имеет пять с углами поворота $-10, 0, +10, +20$ и $+30^\circ$. Закрылки, в случае необходимости облегченных режимов, можно снимать. Система закрылков позволяет расширить зону экономичной работы вентилятора.

С помощью закрылков осуществляется грубое регулирование вентилятора, тонкое регулирование осуществляется обычным способом на каждой ступени, т.е. с помощью направляющего аппарата.

Вентилятор комплектуется асинхронным двигателем со скоростью вращения 600 мин^{-1} .

Центробежные вентиляторы больших размеров. В эту группу отнесены вентиляторы ВЦД-32, ВЦД-40, ВЦД-47А, ВЦД-47У и ВРЦД-4,5. Все вентиляторы применяются только как главные на шахтах, где необходимо иметь высокие производительности и высокие депрессии. Вентиляторы этой группы имеют диаметр рабочего колеса в диапазоне от 3200 до 4700 мм, производительность – $3000 \div 43000 \text{ м}^3/\text{мин}$ и депрессию – $0,9 \div 9,2 \text{ кПа}$. Общим для всей группы является наличие у вентиляторов двух направляющих аппаратов. Все вентиляторы могут работать как на нагнетание, так и на всасывание.

В этой группе вентиляторы ВЦД-32, ВЦД-40 и ВЦД-47«Север» являются машинами одного ряда, в их конструкции много общего. Они имеют самоустанавливающиеся двухрядные сферические роликоподшипники в опорах вала, снимающие осевую нагрузку; имеют одинаковую конструкцию направляющих аппаратов (кроме ВЦД-47) и механизмов поворота их лопаток. Однако в устройстве и работе вентиляторов группы имеется достаточно много различий, что приводит к необходимости подробного описания конструкции каждого из них.

ВЦД-32 – разработан на основе аэродинамической схемы Ц35-15х2. Основное достоинство вентилятора (рис.4.3) – возможность регулирования рабочих режимов плавным изменением скорости вращения рабочего колеса. Плавное изменение скорости достигается за счет применения в качестве основного привода асинхронного двигателя, в свою очередь входящего в систему

вентильно-машинного каскада. Эта система привода позволяет менять скорость вращения плавно в пределах $300 \div 600 \text{ мин}^{-1}$.

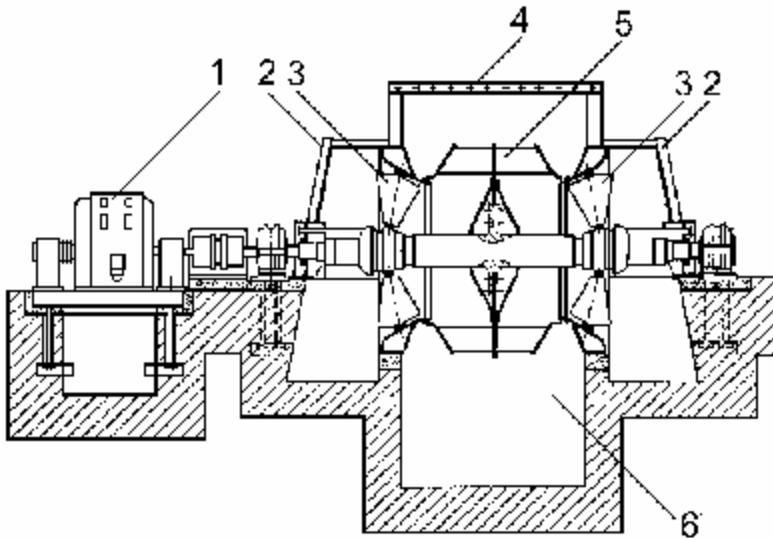


Рис.4.3. Центробежный вентилятор ВЦД-32: 1 – приводной двигатель; 2 – коробки всасывающих коллекторов; 3 – лопатки направляющих аппаратов; 4 – кожух вентилятора; 5 – рабочее колесо (сдвоенное); 6 – выходной канал

Два направляющих аппарата (по одному на каждом всасывающем коллекторе) используются как устройство для разгрузки вентилятора при пуске и как средство тонкого регулирования. Направляющие аппараты имеют по 10 поворотных лопаток, установленных в подшипниках качения, разворачивающихся приводным кольцом через канатную систему и цепной привод электродвигателем. Лопатки разворачиваются с помощью системы дистанционного управления на любой угол в диапазоне $0 \div 90^\circ$.

В случае использования регулируемого привода вентилятор комплектуется одним асинхронным двигателем с фазным ротором, мощностью 1250 кВт и скоростью вращения 600 мин^{-1} .

Модель этого вентилятора ВЦД-31,5М работает с нерегулируемым приводом от синхронного двигателя СДВ-15-64-10-93 с

дополнительной пусковой обмоткой и теми же мощностью и скоростью вращения, что и при регулируемом приводе. Регулирование режимов работы у этой модели осуществляется только с помощью лопаток направляющего аппарата.

С целью повышения развиваемого давления разработана модификация вентилятора ВЦД-31,5М, которой присвоен шифр ВЦД-31,5П. Рабочее колесо этой модели имеет поворотные закрылки на лопатках. Колесо собрано из двух полуколес одностороннего всасывания, раздвинутых распорными втулками для получения доступа к механизму поворота и фиксации закрылков рабочих лопаток.

ВЦД-40 – выполнен по той же аэродинамической схеме, что и предыдущий. Предназначен для проветривания крупных угольных и рудных шахт.

Конструктивно от вентилятора ВЦД-32 почти не отличается. Регулирование режимов работы осуществляется системой вентиляльно-машинного каскада в диапазоне $300 \div 600 \text{ мин}^{-1}$, тонкое регулирование – с помощью осевого направляющего аппарата, путем плавного изменения угла установки лопаток управляемым дистанционно приводом или вручную.

Вентилятор работает с двумя асинхронными двигателями мощностью по 1600 кВт, соединенными с обоими концами вала с помощью зубчатых муфт.

ВЦД-47А «Север» – представляет собой модернизированную разработку вентилятора ВЦД-47, выполненную по аэродинамической схеме Ц40-24. Собственное название «Север» присвоено вентилятору в связи с возможностью его использования в экстремальных климатических условиях с температурным диапазоном $-45 \div +50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Особенности рабочего колеса, связанные с климатическими условиями мест использования, заключаются в применении специальных, так называемых «трехслойных» лопаток. Кроме того, само колесо состоит из двух полуколес, одностороннего всасывания, каждое из которых имеет свой покрывной и коренной диски и 6 рабочих лопаток. Между полуколесами установлены втулки-проставки. Вентилятор не имеет осевых направляющих аппаратов

в обычном понимании этого термина, они заменены устройствами сброса мощности, расположенными в вентиляторных каналах на входах во всасывающие коробки. Устройства состоят из пяти горизонтальных лопаток, установленных в рамах и имеющих возможность поворачиваться вокруг горизонтальной оси на угол $0\div 90^\circ$ по отношению к оси потока воздуха.

Для тонкой регулировки подачи воздуха лопатки вентилятора могут быть установлены на любой угол. Верхняя лопатка может быть фиксирована только в двух положениях – «открыто» и «закрыто». Поворот осуществляется специальным приводом дистанционно. Привод находится вне канала в машинном зале установки.

Грубое регулирование режима работы вентилятора производится плавным изменением скорости вращения рабочего колеса в диапазоне $250 \div 490 \text{ мин}^{-1}$ с помощью асинхронного комбинированного вентиляльно-машинного каскада.

Непосредственный привод вентилятора осуществляется асинхронным двигателем с фазным ротором, скорость вращения которого 500 мин^{-1} и мощность 3500 кВт, соединенным с одним из концов вала зубчатой муфтой. С другим концом вала с помощью такой же муфты соединена машина постоянного тока мощностью 1600 кВт, которая осуществляет разгон вентилятора до частоты 300 мин^{-1} . Эта же машина работает на вал в паре с основным двигателем при скорости вращения более 375 мин^{-1} .

ВЦД-47У – разработан на основе аэродинамической схемы Ц40-24. По конструктивному исполнению приближается к вентилятору ВЦД-40. Имеет два направляющих аппарата в виде цилиндрических корпусов, примыкающих к входному коллектору. В корпусе радиально установлены во втулках поворотные лопатки, их приводное кольцо и канатная система управления. Осевые направляющие аппараты предназначены для регулирования режимов работы вентилятора и разгрузки при пуске. Рабочие режимы регулируются в диапазоне углов $0\div 70^\circ$, возможные углы поворота лопаток – $0\div 90^\circ$.

Вентилятор может комплектоваться электроприводом для работы в трех режимах:

Ф ВЦД-47У-НС – работа с нерегулируемым приводом – применяется основной синхронный двигатель со скоростью вращения 500 мин^{-1} и разгонный двигатель с фазным ротором. Возможно применение в качестве основного двигателя со скоростью вращения 375 мин^{-1} ;

Ф ВЦД-47У-Р – работа с регулируемым приводом по системе вентиляльно-машинного каскада со скоростью вращения в диапазоне $250 \div 500 \text{ мин}^{-1}$;

Ф ВЦД-47У-Н – работа с нерегулируемым приводом в виде двух асинхронных двигателей, соединенных с концами вала, со скоростью вращения 500 мин^{-1} .

Вентиляторы местного проветривания

Главные вентиляторы, как правило, обеспечивают все потребности шахты в свежем воздухе, но они гарантируют перемещение воздушного потока только по сквозным выработкам, входящим в вентиляционную сеть шахты. В то же время в любой шахте имеется большое количество потребителей, находящихся в тупиковых пространствах. К таким потребителям относятся в первую очередь призабойные пространства выработок, находящихся в стадии проведения, различные технологические камеры, в некоторых случаях выработанные пространства и другие. Воздух к этим потребителям может подводиться с помощью специальных вентиляторов, называемых вентиляторами местного проветривания (ВМП).

Вентилятор местного проветривания должен отличаться от вентиляторов, рассмотренных выше. Отличия диктуются условиями их установки, работы и требованиями, предъявляемыми к ним Правилами безопасности (ПБ). Величина рабочих параметров и особенности конструкции вентиляторов местного проветривания предопределяются упомянутыми отличиями.

Вентиляторы местного проветривания должны быть *компактными*, поскольку они размещаются в выработках, площадь сечения которых может быть весьма ограниченной. Специальные

камеры для их размещения делаются только для крупных вентиляторов, имеющих производительность 10 м³/с и более.

ВМП работают всегда с трубопроводом, по которому они подают (или отсасывают) воздух к потребителю. Трубопроводы могут иметь различные диаметр и конструкцию. *Возможность надежного соединения с трубопроводом* – еще одна особенность этих вентиляторов.

В угольных шахтах проветриваемые с помощью ВМП выработки и выработки, в которых последние установлены, могут иметь выделения метана. Это обстоятельство предопределяет еще одну особенность вентиляторов местного проветривания: они должны иметь *взрывобезопасное исполнение*.

Количество воздуха, который необходимо подавать в призабойное пространство проводимой выработки, в течение всего периода проходки чаще всего остается постоянным. Однако в связи с изменением длины выработки увеличивается длина трубопровода и, соответственно, его сопротивление, определяемое по выражению

$$R = 6,5\alpha \frac{l_{mp}}{d^5}, \quad (4.1)$$

где α – коэффициент аэродинамического сопротивления применяемых труб, Н с²/м⁴;

l_{mp} – длина трубопровода, м;

d – диаметр труб, м.

С увеличением длины выработки характеристика трубопровода становится круче, режим работы вентилятора сдвигается влево, с уменьшением производительности. С другой стороны, увеличение длины трубопровода ведет к увеличению утечек в нем. Все это приводит к необходимости увеличения производительности вентилятора по мере увеличения длины проводимой выработки. Это значит, вентилятор местного проветривания должен быть *регулируемым*.

Все эти обстоятельства привели к необходимости создания специальных конструкции вентиляторов местного проветривания,

различающихся по типу (*осевые и центробежные*) и приводу (*с электроприводом и с пневмоприводом*).

На шахтах еще применяются ВМП старых выпусков типа «Проходка» и СВМ, возможности которых по производительности и депрессии весьма ограничены. Кроме этого, вентиляторы «Проходка» (Проходка-400, Проходка-500-2М, Проходка-600) и СВМ (СВМ-4М, СВМ-5М, СВМ-6М) не регулируются по режиму работы. Изменения в подаче воздуха и депрессии можно производить только путем использования последовательной или параллельной совместной работы этих вентиляторов.

В настоящее время в горной отрасли широко распространены ВМП, отвечающие всем требованиям к вентиляторам этой группы, они представлены моделями осевого и центробежного типов.

Выпускаемые и применяющиеся вентиляторы местного проветривания шифруются при помощи буквенных и числовых обозначений: В – вентилятор, М – местного проветривания, П – с пневмоприводом, Ц – центробежный, О – с односторонним всасом; цифра после дефиса – диаметр рабочего колеса в дециметрах; буква «М» после значения диаметра – модернизирован.

Осевые вентиляторы серии ВМ. Вентиляторы этой серии разработаны на основе аэродинамической схемы осевого вентилятора с *меридиональным ускорением* потока.

В этой схеме сечение входного коллектора на пути от входа до рабочего колеса плавно уменьшается за счет увеличения сечения обтекателя, что позволяет в 1,5 ÷ 2,0 раза повысить осевую скорость потока на выходе и, следовательно, преобразовать основную часть энергии в скоростной напор. Это сокращает потери потока в кольцевом канале вентилятора и увеличивает его коэффициент полезного действия.

Серия ВМ представлена вентиляторами ВМ-3М, ВМ-4М, ВМ-5М, ВМ-6М, ВМ-8М, ВМ-12М, ВМЭ-12А и ВМ-12А.

Конструкция вентиляторов серии в общих чертах представлена на примере модели ВМ-5М (рис.4.4). Основные узлы и детали, включая электродвигатель 4, находятся в цилиндрическом

корпусе 1. Электродвигатель закреплен во втулке, связанной с корпусом через лопажки спрямляющего аппарата 3. Рабочее колесо 2 насажено непосредственно на вал электродвигателя. Венец рабочего колеса имеет форму усеченного конуса, направленного меньшим сечением в сторону коллектора. Это увязано с основным принципом аэродинамической схемы с меридиональным ускорением потока. Образованию такого типа потока способствует и форма входного обтекателя (кока).

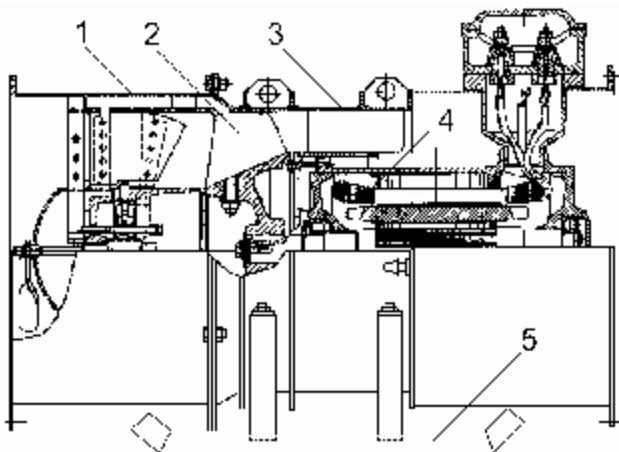


Рис. 4.4. Вентилятор VM-5M: 1 – корпус; 2 – рабочее колесо; 3 – спрямляющий аппарат; 4 – электродвигатель; 5 – салазки

Лопатки рабочего колеса изготавливаются из капрона, в их профильной части имеется стальная арматура, снабженная хвостовиком, с помощью которого осуществляется крепление лопаток к венцу рабочего колеса.

Во входной части коллектора вентилятор имеет противосрывное устройство, обеспечивающее плавный вход потока. В передней части корпуса, между коком и рабочим колесом, установлен осевой направляющий аппарат, состоящий из девяти профильных резиновых лопаток, которые имеют стальную армировку носика и хвостовика. К арматуре хвостовика крепится водило,

представляющее собой элемент поворотного механизма, с помощью которого можно плавно разворачивать лопасти на угол $+45 \div -50^\circ$. На торце кока нанесены стрелки, показывающие направление поворота с целью увеличения производительности («Больше») или уменьшения («Меньше»).

Вентиляторы серии имеют такую конструкцию корпуса, которая позволяет их объединение в секции для последовательной совместной работы.

Вентиляторы серии комплектуются специализированными электродвигателями ВАОМ. Мощность и скорость вращения определяется типоразмером модели. В конструкцию введены устройство для кабельного ввода, съемные салазки и рым-скоба для подвески вентилятора в случае необходимости.

Некоторые особенности моделей:

ВМ-3М и **ВМ-4М** – основное отличие этих вентиляторов серии – направляющий аппарат, состоящий из девяти лопаток листового типа, жестко соединенных с корпусом. Вентиляторы не имеют регулировки, их аэродинамические характеристики представляют одну кривую монотонной формы в осях $H-Q$.

Комплектуются асинхронными двигателями ВАОМ-21-2 и ВАОМ-32-2 со скоростью вращения 3000 мин^{-1} и мощностью соответственно 2,2 и 4,0 кВт. Масса – 80 и 140 кг.

ВМ-5М и **ВМ-6М** – имеют аналогичную конструкцию всех узлов, кроме направляющего аппарата, отличаются размерами. Направляющий аппарат оснащен поворотными лопатками и механизмом одновременного плавного поворота этих лопаток, регулировка осуществляется вручную специальным торцевым ключом.

По своим параметрам соответствуют запросам по подаче воздуха для большинства проводимых выработок (особенно ВМ-6М), широко распространены в горной практике.

Хорошо работают с наиболее часто применяемыми гибкими трубами типа М, МУ, Т и другими, диаметром 500 и 600 мм без переходных вставок.

Вентиляторы комплектуются короткозамкнутыми асинхронными двигателями ВАОМ-52-2 и ВАОМ-62-2 со скоростью

вращения 3000 мин⁻¹ и мощностью соответственно 13,0 и 24,0 кВт. Масса – 250 и 350 кг.

ВМ-8М и **ВМ-12М** – по конструкции почти не отличаются от вентиляторов предыдущей группы.

Одна из особенностей конструкции – регулировка производительности с помощью промежуточного валика, хвостовик которого выведен в гнездо на корпусе вентилятора. Регулировка выполняется специальным ключом. Угол установки лопаток контролируется по лимбу, находящемуся также на корпусе.

Вентилятор ВМ-12М отличается еще тем, что его рабочее колесо имеет 14 профильных лопаток, зафиксированных на стальном венце с помощью гаек.

Вентилятор ВМ-8М комплектуется асинхронным двигателем ВАОМ-72-2 мощностью 38,0 кВт и скоростью вращения 3000 мин⁻¹, вентилятор ВМ-12М имеет асинхронный двигатель мощностью 110 кВт и скоростью вращения 1500 мин⁻¹.

ВМ-12А – конструктивно вентилятор выполнен по аэродинамической схеме осевых вентиляторов с меридионально-ускоренным потоком.

Имеет корпус, аналогичный корпусу ВМ-12М, кожух выполнен внутри противосрывного устройства. Это устройство закреплено на корпусе шарнирно и может откидываться, открывая доступ к венцу рабочего колеса.

Рабочее колесо вентилятора выполнено в виде диска, закрепленного на ступице, которая в свою очередь насажена на вал электродвигателя. Венец рабочего колеса крепится к упомянутому диску болтами. К венцу приварены профильные лопатки, их угол установки изменяться не может, сменным является сам венец. Вентилятор комплектуется тремя сменными венцами, на которых лопатки приварены под углами 15, 25 и 35°. Таким образом, напорная характеристика вентилятора представлена тремя частными характеристиками с указанными углами установки.

Вентилятор комплектуется асинхронным двигателем ВРМ-280, мощностью 110 кВт и скоростью вращения 1500 мин⁻¹, имеющим взрывобезопасное исполнение.

Вентилятор работает с жесткими трубопроводами из труб диаметром 1000 и 1200 мм.

Модификация вентилятора **ВМЭ-12А** имеет оригинальное клиновое крепление сменных венцов, облегченное рабочее колесо и противосрывное устройство.

Осевые пневматические вентиляторы. Применяемые в горной отрасли в качестве вентиляторов местного проветривания пневматические вентиляторы созданы на базе аэродинамической схемы с меридиональным ускорением потока. Исключением из общего ряда является вентилятор ВМП-4, в основу которого заложена типовая аэродинамическая схема с цилиндрической проточной частью.

Отличием всех пневматических вентиляторов является отсутствие приводного двигателя как такового. Вращение рабочему колесу придается активной турбинкой, являющейся частью этого же колеса.

Все узлы и детали пневматического вентилятора собраны в цилиндрическом корпусе, состоящем из передней части 1 (рис.4.5) и выходной части 3, соединенных болтами по фланцу. В центральной части передней опоры с помощью радиальных ребер закреплена цилиндрическая втулка, в которой находятся два подшипника качения вала вентилятора 4. Передняя часть втулки перекрыта конусообразным обтекателем, создающим постепенное сужение потока воздуха на входе в соответствии с принципом аэродинамической схемы. На консоли вала, выступающей в сторону выходной части корпуса, шпонкой и гайкой крепится рабочее колесо. К втулке рабочего колеса приварены листовые лопатки, соединенные по периферии ободом, в кольцевом пазу которого размещены капроновые лопатки турбинки активного типа. Обод входит в пространство между фланцами передней и выходной частей корпуса. Это пространство и лопатки венца и образуют рабочую часть турбинки, к которой подводится сжатый воздух через кобрку с регулирующим устройством в виде перекрываемых сопел.

Регулировка оборотов рабочего колеса осуществляется трехходовым краном, обеспечивающим закрывание всех трех сопел или открывание одного, двух или всех трех. Выбором

положения трехходового крана можно обеспечить три режима работы вентилятора или его остановку.

Пневматический вентилятор обязательно комплектуется глушителем шума.

Семейство пневматических вентиляторов представлено моделями ВКМ-200А, ВМП-3М, ВМП-4, ВМП-5М и ВМП-6М.

ВКМ-200А, ВМП-3М, ВМП-5М – имеют сходную конструкцию и отличаются только размерами узлов. Детали корпуса выполнены из алюминиевых сплавов.

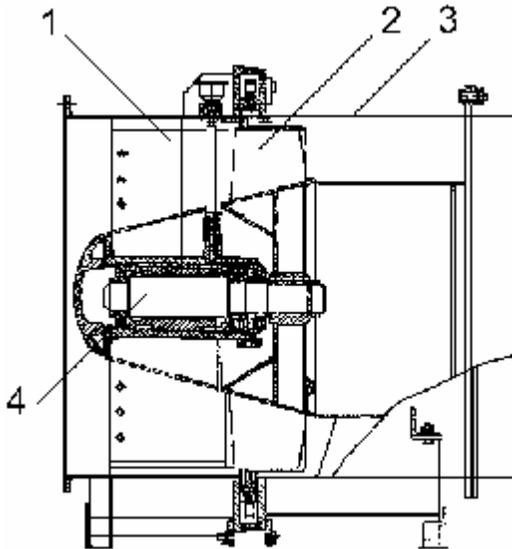


Рис. 4.5. Вентилятор ВМП-6М: 1 – передняя часть корпуса; 2 – рабочее колесо с лопатками; 3 – выходная часть корпуса; 4 – вал рабочего колеса

ВКМ-200А имеет одно нерегулируемое сопло в коробке подачи сжатого воздуха и одну, соответственно, напорную характеристику в осях $H-Q$. Вентилятор имеет рым для подвески к элементам крепи выработки.

ВМП-3М и **ВМП-5М** снабжены коробкой подачи сжатого воздуха с тремя соплами и трехходовым краном. Это позволяет вентиляторам работать в пониженном, нормальном и усиленном

режимах. Напорная характеристика имеет три кривые в осях $H-Q$. Вентиляторы имеют рым для подвески и салазки.

ВМП-4 – отличается аэродинамической схемой, он имеет цилиндрическую проточную часть постоянного сечения. Других отличий в конструкции от вентилятора ВМП-5М нет.

Может работать в трех режимах, характеристика представлена тремя кривыми в осях $H-Q$.

ВМП-6М – по конструкции является полной аналогией вентилятора ВМ-5М. Отличается размерами узлов и деталей.

Регулируется для работы в трех режимах. Аэродинамическая характеристика представлена тремя кривыми.

Эксплуатационные параметры сравнимы с параметрами вентилятора ВМ-6М при несравненно меньшей массе (220 кг против 350) и меньших размерах.

Центробежные вентиляторы местного проветривания. Осевые вентиляторы при всех своих достоинствах, выраженных в простоте их устройства, компактности и высокой производительности, обладают одним недостатком, имеющим немаловажное значение при их использовании в качестве ВМП, – они не могут развивать высоких депрессий, необходимы при работе на трубопроводы большой длины.

Высокие депрессии присущи вентиляторам центробежным. Для использования в качестве вентиляторов местного проветривания выпускается группа вентиляторов этого типа: ВМЦ-6, ВЦ-7 и ВЦ-9. Позднее на основе этих вентиляторов разработаны модели ВМЦ-8, ВМЦГ-7 и некоторые другие.

При разработке центробежных вентиляторов местного проветривания предпочтение отдается аэродинамической схеме с так называемым прямоточным корпусом. Конструкция, воплощающая эту схему, отличается тем, что входное и выходное отверстия вентилятора находятся на одной оси.

ВЦ-7 – вентилятор имеет кожух 1 (рис.4.6) цилиндрического типа, в котором закреплен электродвигатель 8. Непосредственно на валу двигателя находится рабочее колесо 2, состоящее из соединенного со ступицей коренного диска, покрывного диска и

неподвижных лопаток, приваренных к обоим дискам. Лопатки имеют поворотные закрылки.

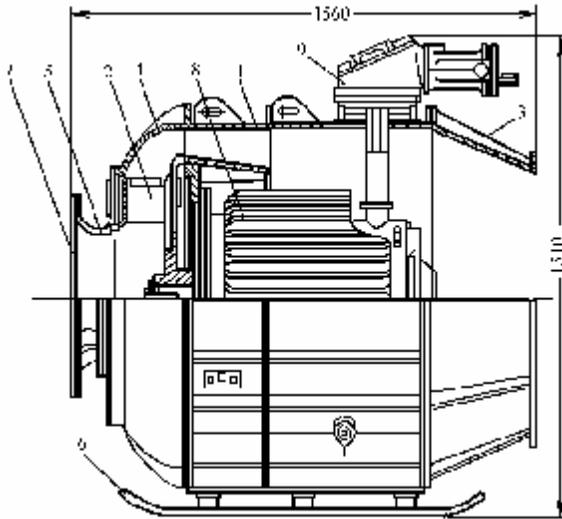


Рис. 4.6. Вентилятор ВЦ-7: 1 – кожух; 2 – рабочее колесо; 3 – выходной патрубок; 4 – передняя часть корпуса; 5 – переходник; 6 – салазки; 7 – коллектор; 8 – двигатель; 9 – кабельный ввод

Воздух входит в коллектор 7, проходит через переходник 5 и попадает на рабочее колесо, находящееся в передней части кожуха. Пройдя рабочее колесо, поток выходит в тороидальную часть корпуса, где изменяет направление движения на осевое.

В прямоточной части корпуса размещены неподвижные лопатки спрямляющего аппарата, назначение которых заключается в превращении скоростного напора потока, закрученного после рабочего колеса, в статическое давление.

Регулирование рабочего режима вентилятора производится поворотом закрылков лопаток рабочего колеса на остановленном вентиляторе. Закрылок каждой лопатки индивидуально разворачивается с помощью рычагов, закрепленных на осях лопаток,

после разворота закрылок фиксируется. Операция разворота выполняется через люки в корпусе.

ВМЦ-6 и **ВЦ-9** – выполняются по традиционной схеме и конструкции центробежных вентиляторов.

Рабочее колесо этих вентиляторов устанавливается на валу в спиральном кожухе. В коллекторе установлен осевой направляющий аппарат с лопатками и поворотным механизмом, позволяющим устанавливать лопатки с углами в диапазоне $0 \div 70^\circ$ у вентилятора ВМЦ-6 и $0 \div 80^\circ$ у вентилятора ВЦ-9.

Вентиляторы ВМЦ-6 и ВЦ-7 устанавливаются непосредственно в выработке и работают с трубопроводом, выполненным из труб диаметром 500, 600 или 800 мм.

Для установки вентилятора ВЦ-9 проходится и оборудуется специальная камера небольшого размера, в которой размещается электродвигатель и часть рамы вентилятора.

Тенденции дальнейшего развития вентиляторостроения

подавляющее большинство шахт и рудников страны оснащены главными вентиляторными установками, работающими на базе вентиляторов серий ВОД и ВЦ (ВЦД). В течение длительного периода эксплуатации этих вентиляторов выяснены их высокие эксплуатационные качества, надежность, эффективность и долговечность.

Изучение показателей эффективности работы этих вентиляторов в период эксплуатации позволило провести модернизацию наиболее распространенных моделей и разработать более совершенные их модификации, о которых уже упоминалось в соответствующих разделах пособия.

Определены и направления дальнейшего совершенствования шахтных вентиляторов.

Приоритетным направлением в развитии вентиляторостроения, несомненно, является разработка *новых аэродинамических схем*, обладающих возможностями по реализации:

Ф расширения диапазона эксплуатационных параметров (дебит и напор) моделей до величин, позволяющих использовать

вентиляторные установки в условиях изменения технологии и параметров горного предприятия;

Ф расширения зоны высоких коэффициентов полезного действия вентиляторов в области полезного использования этих вентиляторов;

Ф систем плавного регулирования эксплуатационных параметров в автоматическом режиме в зависимости от заданных величин и внешних условий на основе современных возможностей техники.

Перспективным направлением развития вентиляторостроения является разработка *машин специального назначения* – применяющихся в специфических условиях или для достижения определенной цели. Реализация этого направления производится ведущим вентиляторостроительным предприятием страны – ОАО «Артемовский машиностроительный завод «ВЕНКОМ».

Завод выпускает серию вентиляторов **ВОМ** (**ВОМД**), предназначенных для работы в неагрессивных средах. Основное назначение вентиляторов этой серии – принудительное проветривание сооружений метрополитенов, дорожных тоннелей и других инженерных сооружений.

Серия состоит из вентиляторов **ВОМ-16, ВОМ-18, ВОМ-24** и **ВОМД-24А**. Основа серии – аэродинамическая схема, обеспечивающая высокий КПД и экономичность работы. Схема обеспечивает также возможность реверсирования струи с подачей, составляющей 60÷80% от прямой струи. Конструкция вентиляторов серии обладает многими положительными качествами:

Ж простая и надежная регулировка режимов поворотом лопаток рабочих колес

Ж простой переход на реверсивное направление использованием направляющего и спрямляющего аппаратов;

Ж легкая разборка на отдельные узлы при монтаже и демонтаже в условиях ограниченного пространства подземных работок;

Ж рациональность и жесткость элементов и узлов, гарантирующие длительную и безотказную работу;

Ж возможность использования современной пусковой, регулирующей и контрольно-измерительной аппаратуры;

Ж низкий уровень шумности.

Технические характеристики вентиляторов серии приводятся (табл.4.1).

Таблица 4.1

Техническая характеристика вентиляторов серии ВОМ

Параметры	ВОМ-16	ВОМ-18	ВОМ-24	ВОМ-24А
Диаметр колеса, мм	1600	1800	2400	2400
Частота вращения, мин ⁻¹	750	600	750	500
Подача, м ³ /с				
-номинальная	29	42	70	75
-в рабочей зоне	10-50	12,5-65	30-100	35-110
Давление, Па				
-номинальное	450	510	600	
-в рабочей зоне	220-800	200-700	200-750	
КПД				
-максимальный	0,8	0,78	0,78	0,83
-в рабочей зоне	0,6-0,8	0,6-0,78	0,6-0,75	0,6-0,8
Мощность привода, кВт	45,0	60,0	90,0	132,0

Другая серия, выпускаемая этим же предприятием, – специальные вентиляторные центробежные установки, предназначенные для работы на угольных шахтах в качестве газоотсасывающих на участковых шурфах. Серия маркируется аббревиатурой УВЦГ и состоит из установок **УВЦГ-7, УВЦГ-9, УВЦГ-15 и УВЦГ-20.**

Установки УВЦГ имеют оригинальную современную конструкцию (рис.4.7), предусматривающую возможность их эксплуатации при концентрации метана в рабочей смеси от 0 до 100%, при температуре этой смеси от 228 К до 323 К, запыленности до 150 мг/м³ и относительной влажности до 98%.

Вентиляторные установки УВЦГ выполнены на основе высоконагруженной аэродинамической схемы Ц12—16, которая

обеспечивает высокое давление без увеличения уровня шумов и высокий статический КПД.

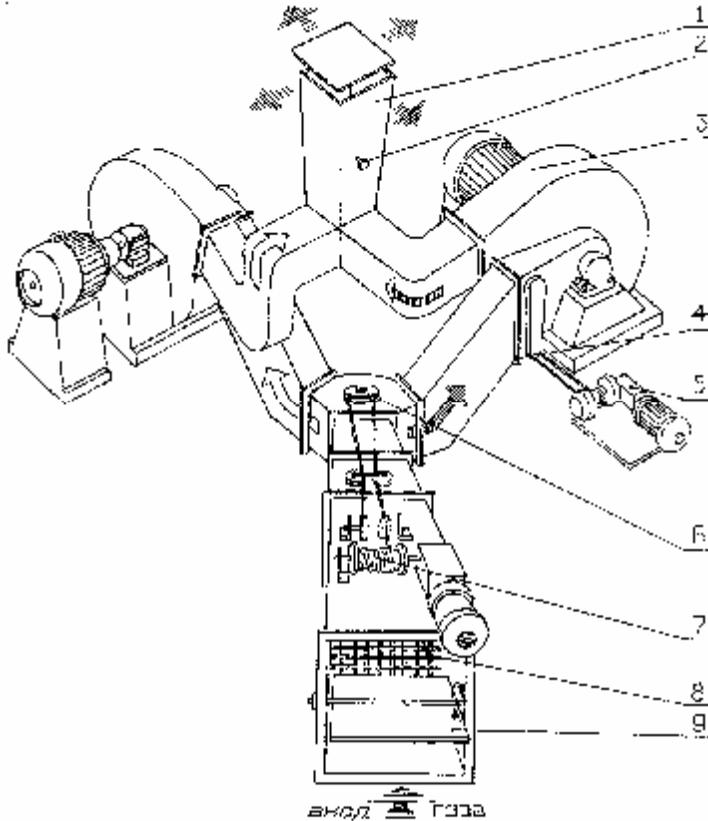


Рис.4.7. Установка вентиляторная центробежная газоотсасывающая УВЦГ-15: 1 – выходной патрубок; 2 – заслонка; 3 – вентилятор ВЦГ-15; 4 – гибкое уплотнение; 5, 7 – лебедки; 6 – устройство переключения потока; 8 – защитная лядя; 9 – лядя

Установки выпускаются в виде комплектов, состоящих из двух вентиляторов (рабочий и резервный), устройства переключения потока, аэродинамического обратного клапана, соединительных патрубков и резиновых уплотнителей. Все узлы установок монтируются на раме вместе с приводным двигателем (УВЦГ-7, УВЦГ-9). Предусмотрена комплектация вспомогательным оборудованием (лебедки, тросы, контрольно-измерительная аппаратура, стопоры и т.п.). Узлы конструкций установок имеют взрывозащищенные и виброзащищенные исполнения, двигатели имеют взрывозащиту типа РВ-4В. Установки предназначены для работы на всасывание.

Техническая характеристика приводится (табл.4.2).

Таблица 4.2

Техническая характеристика вентиляторов серии УВЦГ

Параметры	УВЦГ-7	УВЦГ-9	УВЦГ-15
Диаметр колеса, мм	810	900	1610
Частота вращения, мин ⁻¹	3000	3000	3000
Подача номинальная, м ³ /с	9,0	18,5	38,0
Номинальное статическое давление, Па	8000	14000	9800
Максимальный статический КПД	0,78	0,78	0,82
Мощность привода, кВт	132,0	400	400

Тенденции совершенствования вентиляторов местного проветривания предполагают направления:

Ф создание универсальных установок, имеющих эксплуатационные параметры, удовлетворяющие запросы потребителей по производительности и депрессии в самых различных вариантах проведения выработок (длина, сечение, технология) без необходимости использования совместной работы;

Ф уменьшение размеров и веса моделей ВМП;

Ф возможность работы с различными вариантами трубопроводов.

С этой точки зрения имеет смысл разработки аэродинамической схемы для модели трехступенчатого осевого вентилятора,

соизмеримого по своим внешним параметрам с моделью ВМ-6М. Разработка и внедрение такой модели снимают многие проблемы проветривания протяженных тупиковых выработок и необходимость применения последовательной совместной работы вентиляторов в таких условиях.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие достоинства и параметры осевых вентиляторов предопределили их широкое применение в годы развития горнодобывающей отрасли в России и СССР?

2. Приведите основные особенности вентиляторов серии ВОКД. Чем отличается вентилятор ВОКР от других вентиляторов этой серии?

3. Какие положительные отличия имеет серия ВОД в сравнении с другими осевыми вентиляторами?

4. Чем отличается вентилятор ВОД-16 от других вентиляторов серии ВОД?

5. Какие свойства центробежных вентиляторов предопределили их широкое распространение на современном этапе развития горнодобывающей отрасли?

6. По какому назначению применяются центробежные вентиляторы группы малых размеров в шахтных сетях?

7. Какие центробежные вентиляторы относятся к группе средних размеров? Назовите примерные величины их рабочих параметров.

8. Чем отличается ВЦЗ-32 от остальных в группе вентиляторов средних размеров?

9. Чем отличаются вентиляторы ВЦД-32, ВЦД-40 и ВЦД-47 «Север» от других представителей своей группы?

10. Назовите способы регулирования рабочих параметров осевых и центробежных вентиляторов.

11. Какие требования предъявляются к ВМП в шахтах?

12. Дайте краткую характеристику ВМП по сериям (ВМ, ВМП и ВЦ).

Выбор и регулирование вентилятора для работы на сеть

Выбор вентилятора – завершающий и ответственный этап проектирования проветривания новой или реконструируемой шахты. Правильно выбранный вентилятор обеспечит высокую надежность проветривания и, следовательно, создаст условия для безопасного и эффективного выполнения технологических процессов. И наоборот, неграмотный и безответственный подход к выбору вентилятора может обесценить любые перспективные решения технологического порядка.

Расчетные параметры вентилятора

Выбор вентиляторов для работы на вентиляционную сеть шахты производится на основе расчетных параметров их режимов Q_B и H_B .

Производительность вентилятора. Производительность главного вентилятора должна обеспечивать проветриваемую шахту или ее часть необходимым количеством воздуха и компенсировать утечки последнего через надшахтные здания и вентиляционные каналы установки.

$$Q_v = Q_{ш.и} + Q_{ут.вн}, \quad (5.1)$$

где $Q_{ш.и}$ – расход воздуха в обеспечиваемой вентилятором шахтной сети, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{ут.вн}$ – утечки в вентиляционных каналах установки (табл. 5.1) и через надшахтное здание (табл. 5.2).

Необходимое для проветривания шахты количество воздуха устанавливается расчетом при проектировании. Подробная методика расчета потребности в воздухе приведена в литературе [5].

Внешние утечки $Q_{ут.вн}$ могут быть учтены коэффициентом, в этом случае необходимая производительность вентилятора определяется по формуле

$$Q_v = Q_{ш.и} K_{вн.ут}, \quad (5.2)$$

где $K_{вн.ут}$ – коэффициент, учитывающий утечки через вентиляционные каналы установки и надшахтное здание; принимается для вентилятора, установленного на скиповом стволе, равным 1,25; на клетевом – 1,20; на вентиляционном стволе (шурфе), используемом для подъема и спуска грузов – 1,30; на вентиляционном стволе (шурфе) без подъемных установок – 1,10; на штольнях без транспортировки грузов – 1,10.

Таблица 5.1

Нормы утечек через вентиляционные каналы (м³/мин)

Площадь поперечного сечения вентиляционного канала, м ²	Норма утечек
до 5	200
5 – 10	300
10 – 15	500
15 – 20	600
20 – 25	750
более 25	820

Для вентиляторов, установленных на штольнях, производительность лучше определять по формуле (5.1), предварительно установив по нормам утечки в шлюзах и в вентиляционном канале.

Нормы утечек в табл. 5.1 и 5.2 соответствуют перепаду давлений 2000 Па, для иных перепадов нормы можно пересчитать по формуле

$$Q_{ут.вн} = Q_{ут.табл} \sqrt{\frac{h_{действ}}{2000}}. \quad (5.3)$$

При нагнетательном проветривании нормы утечек в табл. 5.1 и 5.2 увеличиваются на 13%.

Таблица 5.2
Нормы утечек через надшахтные здания ($\text{м}^3/\text{мин}$)

Площадь стен, перекрытие и копер, м^2	Скиповые стволы	Клетевые стволы
< 100	–	90
100 – 300	–	180
300 – 500	670	380
500 – 1000	780	690
1000 – 1500	950	850
1500 – 2000	1080	980
2000 – 3000	1200	1100
3000 – 4000	1400	1200
4000 – 5000	1550	–
5000 – 6000	1700	–
6000 – 7000	1750	–
> 7000	2000	–

Депрессия вентилятора. Расчетная депрессия вентилятора в соответствии с выражением (3.3) должна обеспечивать движение воздуха в шахтной сети ($h_{ш}$) и потери давления в вентиляторной установке ($h_{вн}$).

Депрессия шахтной сети рассчитывается при проектировании системы проветривания, в качестве основной составляющей в нее входят потери на преодоление сопротивления трения в выработках и местные сопротивления. В конечном значении депрессии шахты ($H_{ш}$) обычно учитывают естественную тягу и потерю давления при движении воздуха через воздухоподогревательную (калориферную) установку.

Депрессия шахты обычно рассчитывается на полный период ее работы, если этот период не превышает срока службы вентилятора. В противном случае депрессию рассчитывают на срок

службы вентилятора, составляющий для осевых вентиляторов 15 ÷ 20 лет, для центробежных – 20 ÷ 25 лет.

Естественно, в течение расчетного периода депрессия шахты не остается постоянной. Меняется длина выработок, площадь их сечения, меняется величина естественной тяги. Поскольку при изменении величины депрессии шахты необходимо менять режим работы вентилятора, полезно иметь график изменений депрессии во времени. В крайнем случае, важно знать значения минимальной и максимальной депрессий в будущих режимах работы вентилятора для успешного его выбора по диапазону работы.

Для определения нужной депрессии вентилятора необходимо найти некоторые вспомогательные параметры вентиляционной сети и вентилятора:

F сопротивление вентиляционной сети шахты, (Н с²/м⁸):

$$R_{ш} = \frac{H_{ш}}{Q_{ш}^2} . \quad (5.4)$$

Поскольку депрессия шахты имеет два значения – максимальное ($H_{ш.макс}$) и минимальное ($H_{ш.мин}$), подставляя эти значения в формулу (5.4), получаем два значения сопротивления шахты – *максимальное и минимальное*;

F два значения эквивалентного отверстия шахты (м²) по формуле

$$A_{ш} = \frac{1,19}{\sqrt{R_{ш}}} . \quad (5.5)$$

Минимальное эквивалентное отверстие получается при подстановке в формулу (5.5) максимального сопротивления шахты, а максимальное эквивалентное отверстие – при подстановке минимального сопротивления.

По величине эквивалентного отверстия устанавливается категория шахты по трудности проветривания.

Так при $A_{ш} < 1,0$ шахты относятся к труднопроветриваемым (узким), при $A_{ш} = 1,0 - 2,0$ – к средней трудности проветривания, при $A_{ш} > 2,0$ – к легкопроветриваемым (широким);

F ориентировочный диаметр рабочего колеса вентилятора (м) по формуле

$$D_{\text{в.ор}} = \sqrt{\frac{A_{\text{ш}}}{0,44}} . \quad (5.6)$$

К дальнейшему расчету принимается ближайший *стандартный диаметр* рабочего колеса вентилятора;

F внутреннее аэродинамическое сопротивление самого вентилятора ($\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^8$) определяется по формуле

$$R_{\text{в.в}} = a \frac{P}{D_{\text{в}}^4} , \quad (5.7)$$

где $D_{\text{в}}$ – стандартный диаметр рабочего колеса вентилятора, принятый для расчетов, м;

a – коэффициент, учитывающий конструкцию установки; принимается для осевых вентиляторов с плавным каналом, равным 0,50; для центробежных вентиляторов с двусторонним всасыванием, без амортизатора, с пирамидальным диффузором – 0,55; для центробежных вентиляторов с амортизатором – 0,40; для осевых вентиляторов с коленчатым каналом без лопаток – 1,0.

Чаще всего при окончательном выборе принимается вентилятор с диаметром, не равным определенному по формуле (5.6), в этом случае надо пересчитать внутреннее сопротивление вентилятора по формуле (5.7) для нового значения диаметра;

F необходимая депрессия вентилятора находится по формуле

$$H_{\text{в}} = (K \cdot R_{\text{ш}} + R_{\text{в.в}}) Q_{\text{в}}^2 , \quad (5.8)$$

где K – коэффициент, учитывающий уменьшение сопротивления шахты за счет параллельных путей утечек накоротко:

$$K = \frac{1}{K_{\text{вн.ут}}^2} . \quad (5.9)$$

В течение проектируемого периода, как уже упоминалось, депрессия сети, а следовательно и вентилятора, меняется. Поэтому вентилятор будет работать в каком-то диапазоне депрессий, ограниченном значениями $H_{в.макс}$ и $H_{в.мин}$, полученных по формуле (5.8) путем подстановки соответствующих значений $R_{ш.макс}$ и $R_{ш.мин}$.

Требования к вентилятору и рекомендации по его выбору

Для достижения высокой эффективности в работе вентилятора на сеть при его выборе руководствуются определенными требованиями и рекомендациями.

Вентилятор должен удовлетворять следующим требованиям:

Ф устойчивая и экономичная работа вентилятора может быть гарантирована только в том случае, когда все расчетные режимы работы в течение проектного периода будут находиться в контуре области промышленного использования;

Ф срок службы вентилятора должен перекрывать продолжительность проектного периода;

Ф вентилятор должен иметь резерв производительности, составляющий не менее 20% от расчетного параметра;

Ф вентилятор должен обеспечивать минимальные среднегодовые затраты на его обслуживание;

Ф должны быть учтены технические и социальные факторы его использования – размеры, привязка к промплощадке шахты, возможность надежного электроснабжения, нормы шумности.

Рекомендации, которые следует учитывать при выборе вентилятора:

Ф при величине необходимой депрессии до 1500 Па предпочтительно следует отдавать осевым вентиляторам; при депрессии 1500÷3000 Па можно применять центробежные и осевые; при депрессии более 3000 Па принимать вентиляторы центробежные;

Ф при прочих равных условиях центробежные вентиляторы предпочтительнее осевых;

Ф из нескольких вентиляторов, обеспечивающих нужные режимы, следует выбирать вентилятор с более высоким средним КПД на нужный период времени;

Ф изменение скорости вращения, как способ регулирования режима работы вентилятора, разрешается не более одного раза за весь период его использования. Следует отметить, что рекомендация не касается вентиляторных установок, в которых предусмотрено плавное изменение скорости вращения;

Ф при окончательном выборе из нескольких вентиляторов выбирается вентилятор с меньшим диаметром рабочего колеса, меньшей окружной скоростью, меньшим углом поворота лопаток рабочего колеса или направляющего аппарата при максимальной депрессии, наличием возможности автоматизации управления, наличием возможности плавного регулирования скорости вращения, меньшей стоимостью, соответствием конструкции условиям работы по климатическим параметрам.

Учитывая вышеизложенное, определяют тип будущего вентилятора. Параметры вентиляторов нужного типа, обеспечивающих необходимые режимы, устанавливаются обзором сводных графиков зон промышленного использования серии вентиляторов нужного типа. Выбрав несколько вентиляторов подходящего размера, окончательный выбор производят по индивидуальным характеристикам этих вентиляторов. Пример совмещения необходимых режимов с индивидуальной характеристикой вентилятора приведен на рис. 5.1.

Основные принципы выбора вентилятора с соблюдением требований, предъявляемых к нему, продемонстрированы на том же рисунке.

Точки $A_1 - F_4$ представляют собой условные необходимые режимы работы вентилятора, полученные расчетами, изложенными выше. После наложения ОПИ рассматриваемого вентилятора (в примере ВОД-40 при 375 мин^{-1}) картина взаимодействия этого вентилятора с различными режимами может быть прокомментирована следующим образом:

Г режимы A_1, A_2 и A_3 этим вентилятором не могут быть осуществлены в связи с их расположением правее характеристики, обеспечиваемой максимальным углом поворота лопаток рабочего колеса;

В режимы B_1, B_2 и B_3 этим вентилятором также не могут быть осуществлены в связи с их расположением левее характеристики, обеспечиваемой минимальным углом поворота лопаток рабочего колеса;

С режимы C_1 и C_2 , расположенные выше кривой, ограничивающей ОПИ сверху, могут быть осуществлены (в определенных пределах), но при этом нет гарантии устойчивой (т.е. надежной) работы вентилятора;

Д режимы D_1 и D_2 , расположенные ниже кривой, ограничивающей ОПИ снизу, также могут быть осуществлены, однако работа вентилятора будет иметь очень низкую эффективность ($\eta < 0,6$);

Е все режимы **Е** могут быть обеспечены этим вентилятором.

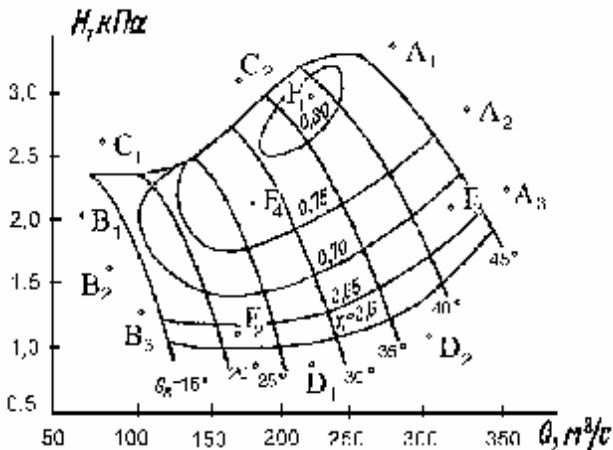


Рис. 5.1. Схема для выбора вентилятора путем нанесения необходимых режимов работы на область полезного использования

Казалось бы, что все в порядке – вентилятор выбран. Однако не будем торопиться и рассмотрим, как работает вентилятор в этих режимах.

Обеспечивая режим F_1 , вентилятор будет работать с очень высоким КПД, но при этом практически отсутствуют запасы по производительности и по депрессии.

В случае работы на режим F_2 вентилятор имеет очень большие запасы как по производительности, так и по депрессии, но при этом его эффективность оставляет желать лучшего ($\eta \rightarrow 0,6$). И вообще, для этого режима лучше принять вентилятор с меньшими параметрами.

В случае работы вентилятора на режим F_3 получаем и низкую эффективность, и отсутствие запасов по производительности и депрессии.

Работа вентилятора на режим F_4 (и другие, расположенные поблизости) обеспечивает как высокую эффективность, так и наличие запасов по главным параметрам.

В случае ограниченных возможностей при выборе вентилятора надо иметь в виду, что ОПИ может быть перемещена в осях координат одновременным изменением обоих регулировочных параметров. В рассматриваемом случае (рис. 5.1) хорошие результаты при работе вентилятора на режим F_2 могут быть получены при снижении скорости вращения рабочего колеса вентилятора до 300 мин^{-1} .

Регулирование режима работы вентилятора

Специфика горного предприятия предполагает постоянное изменение его параметров аэрологического характера. На нормально работающей шахте постоянно меняется число очистных и проходческих забоев, отрабатываются вскрытые и вскрываются новые пласты и рудные тела, изменяется глубина разработок, изменяется газообильность выработок (чаще всего в сторону увеличения), изменяется технология и другие параметры.

Все это приводит к необходимости изменения количества воздуха, поступающего в шахту. Последнее, несомненно, вызывает необходимость изменения производительности вентилятора,

т.е. к регулировке его режима. Необходимость в регулировании вентилятора может возникнуть при кардинальном изменении исходных параметров, связанном с появлением на шахте новых горизонтов, новых участков или воздействии других важных факторов – такие изменения происходят на предприятии не часто и, как правило, успешно прогнозируются. Сезонные изменения режимов вентилятора чаще всего возникают в связи с необходимостью компенсации изменений естественной тяги. Текущие регулировки режимов вентилятора предусматривают необходимость регулирования в связи с проведением некоторых технологических процессов (взрывные работы, перегон машин с ДВС, сбои в схеме вентиляции шахты и т.п.). Наилучшим вариантом текущего регулирования является полная автоматизация системы вентиляции горного предприятия.

Возможность регулирования режимов работы вентилятора обычно предусматривается при его выборе. Уже на этом этапе рассматриваются возможности вентилятора работать в режимах с повышенными и пониженными параметрами.

При рассмотрении вопросов регулирования величина изменения параметров вентилятора в количественном выражении обычно определяется возможной глубиной регулирования.



Под глубиной регулирования понимают отношение максимальной производительности к минимальной, достигаемое изменением регулировочных параметров

При этом имеют в виду регулирование изменением угла установки лопаток рабочего колеса у осевых вентиляторов или осевого направляющего аппарата у осевых и центробежных вентиляторов. Не следует также забывать о регулировании скоростью вращения, если, конечно, привод вентилятора позволяет осуществлять этот вид регулирования.

При установившейся работе на какой-то режим, возможная глубина регулирования может быть выражена в процентном отношении к принятой производительности вентилятора ($\pm n\%$).

Значительные изменения в параметрах вентилятора при его регулировке называют регулировкой большой глубины, или грубой, небольшие изменения называют мелкой, или тонкой, регулировкой. Чаще всего методика и техника проводимой регулировки определяется ее глубиной.

Методика регулировки режимов вентилятора. В горной аэромеханике различают три возможных варианта регулировки режимов вентилятора:

F регулирование по производительности при постоянной депрессии;

F регулирование по депрессии при постоянной производительности;

F регулирование при одновременном изменении производительности и депрессии.

В практике в основном применяется оперативное регулирование, осуществляемое с изменением как производительности, так и депрессии. Учитывая то обстоятельство, что основным параметром, ради которого производится регулировка, является количество поступающего в шахту воздуха, депрессия приобретает подчиненное значение, ее изменение воспринимается как неизбежность. Тем не менее, величина этой «неизбежности» должна гарантировать наименьшие затраты при работе вентилятора во вновь принятом режиме.

В качестве примера вывода вентилятора на другой режим рассмотрена схема работы вентилятора ВОД-40 с 375-ю оборотами в минуту (рис. 5.2). Варианты, возникающие при выборе нового режима, представлены на рисунке, обоснование для их принятия или отклонения приведены в дальнейших пояснениях.

Исходный режим А работы ВОД-40 на сеть R_0 имеет параметры Q_0 , H_0 и обеспечивается установкой лопаток рабочего колеса на угол 35° .

Рассмотрим два варианта предстоящей после регулировки работы вентилятора:

F с увеличением производительности до величины Q_1 ;

F с уменьшением производительности до величины Q_2 .

Снижение производительности до величины Q_2 может быть достигнуто переходом в режим B_2 или C_2 . Первый из них (B_2) является точкой пересечения прежней характеристики вентилятора, соответствующей углу поворота лопаток рабочего колеса 35° и новой характеристики сети, с увеличенным сопротивлением $R_2 > R_0$, т.е. получается увеличением сопротивления сети. Режим C_2 является точкой пересечения прежней характеристики сети с сопротивлением R_0 и новой характеристики вентилятора, соответствующей углу поворота лопаток рабочего колеса 32° . Переход в новый режим достигается уменьшением угла установки лопаток.

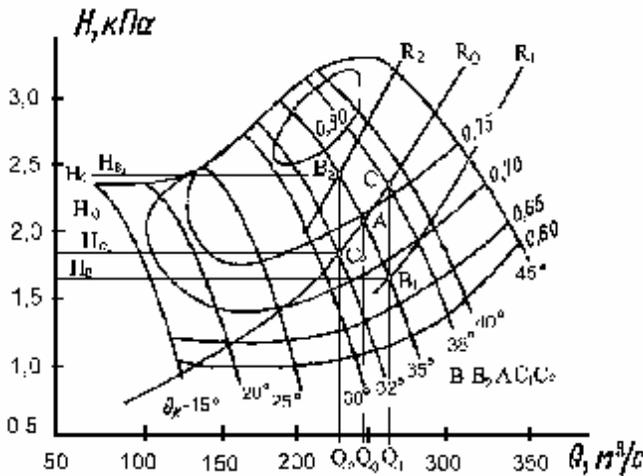


Рис.5.2. Схема к определению режимов работы вентилятора при его регулировании различными методами

Увеличение производительности до величины Q_1 может быть достигнуто переводом вентилятора в режимы B_1 или C_1 . Первый из них (B_1) является точкой пересечения прежней характеристики вентилятора и новой характеристики сети с уменьшенным сопротивлением $R_1 < R_0$. Переход в режим B_1 достигается уменьшением сопротивления сети. Режим C_1 – точка пересечения прежней характеристики сети с сопротивлением R_0 и новой характеристики вентилятора, соответствующей углу поворота лопаток

рабочего колеса 38° . Переход в точку C_1 достигается разворотом лопаток на больший угол.

Для окончательного выбора способа регулирования (C_1 или B_1 , C_2 или B_2) надо рассмотреть возможности технического исполнения каждого из вариантов и сравнить эффективность работы вентилятора в вариантах новых режимов.

Техническое исполнение. Имеет смысл сгруппировать варианты новых режимов по способу их реализации:

F варианты режимов, реализуемые воздействием на вентиляционную сеть;

F режимы, получаемые изменением регулировочных параметров вентилятора.

Для осуществления регулировки воздействием на вентиляционную сеть, прежде всего, необходимо найти величину нового сопротивления этой сети. Определение величины сопротивления (R_1 и R_2) осуществляется аналитическим способом с использованием выражения характеристики сети (3.1), решенным относительно R . При нахождении величин сопротивлений значения расходов Q_1 и Q_2 принимаются в соответствии с заданными параметрами регулировки, а значения соответствующих им депрессий снимаются непосредственно с графика.

Снижение сопротивления сети обычно производится за счет включения в сеть параллельных выработок, уменьшения коэффициента аэродинамического сопротивления α , увеличения сечения выработок, увеличения регулировочных окон. Увеличение сопротивления сети чаще всего осуществляется постановкой дополнительных регулировочных окон.

Вопросы регулирования режимов изменением регулировочных параметров затрагивались в предыдущих главах пособия. Применение тех или иных вариантов регулирования этим способом определяется типом и конструкцией вентилятора.

Осевые вентиляторы серии ВОКД. Грубая регулировка вентиляторов этой серии осуществляется индивидуальным поворотом лопаток рабочего колеса на остановленной машине через люки в кожухе. Лопатки могут устанавливаться на любой угол в

диапазоне $15 \div 45^\circ$. Тонкая регулировка предусмотрена только у вентиляторов ВОКД-2,4; ВОКД-3,0 и ВОКД-3,6. Выполняется тонкая регулировка поворотом хвостовых частей лопаток промежуточного направляющего аппарата на работающем вентиляторе специальным механизмом. Механизм приводится в действие электродвигателем или вручную. Возможна грубая регулировка вентилятора снятием части лопаток с рабочего колеса (через одну). Этот метод регулировки применяется обычно в начальном или конечном периоде эксплуатации горного предприятия при сниженном потреблении воздуха.

Грубая регулировка вентилятора ВОКР-1,8 (созданного на базе серии ВОКД) осуществляется так же, как и у крупных вентиляторов серии, т.е. разворотом лопаток рабочего колеса. Тонкая регулировка выполняется изменением вогнутости лопаток направляющего аппарата с помощью специального механизма.

Осевые вентиляторы серии ВОД. Грубая регулировка осуществляется индивидуальным поворотом каждой лопатки рабочего колеса на любой угол в диапазоне $15 \div 45^\circ$ через люки в кожухе. Возможно так же, как и у серии ВОКД, снятие части лопаток с колеса. Тонкая регулировка производится одновременным поворотом лопаток направляющего или спрямляющего аппаратов на работающей машине с помощью специального механизма электрическим двигателем или вручную.

Вентилятор ВОД-16 стоит в серии особняком – это вентилятор встречного вращения рабочих колес. Он не имеет направляющего и спрямляющего аппаратов. Следствием особенности конструкции является отсутствие у вентилятора тонкой регулировки. Грубая регулировка производится индивидуальным поворотом лопаток рабочих колес. При осуществлении регулировки необходимо иметь в виду, что углы установки лопаток на первом и втором рабочих колесах разные, сочетания углов заданы на аэродинамической характеристике в виде дроби, где числитель – угол установки лопаток первого колеса (по ходу струи воздуха при прямой работе), знаменатель – второго.

Центробежные вентиляторы. Практически все центробежные вентиляторы регулируются с помощью осевого направляющего аппарата (ОНА), устанавливаемого на входном коллекторе в специальном корпусе. Лопатки этого направляющего аппарата могут разворачиваться специальным механизмом с помощью электропривода или вручную на угол от 90° до 0° . Проходя через развернутые лопатки направляющего аппарата, воздух отклоняется в сторону вращения рабочего колеса. Угол поворота лопаток ОНА 0° соответствует установке лопаток параллельно оси вала вентилятора. Установка лопаток под углом 90° полностью перекрывает отверстие входного коллектора. В некоторых вентиляторах предусмотрен поворот лопаток на отрицательные углы до -20° с целью увеличения давления, развиваемого вентилятором.

Вентилятор ВЦД-47 "Север" осевого направляющего аппарата не имеет, вместо этого здесь предусмотрен лопастной механизм для сброса мощности во входном канале.

В конструкции вентилятора ВЦЗ-32 кроме регулирования ОНА заложена возможность грубого ступенчатого регулирования с помощью закрылков, устанавливаемых на рабочем колесе. Регулирование осуществляется установкой этих закрылков в одно из трех возможных фиксированных положений или полным снятием закрылков. Такая же особенность конструкции предусмотрена у модификации вентилятора ВЦД-32М – ВЦД-31,5П.

Вентиляторы ВЦД32М (ВЦД-31,5М), ВЦД-40, ВЦД-47 "Север" и ВЦД-47У имеют привод, позволяющий плавно изменять скорость вращения рабочего колеса для осуществления глубокого регулирования их режимов.

В конструкции некоторых центробежных вентиляторов заложена возможность грубого регулирования в виде комплектации установок двумя двигателями с разными скоростями вращения (ВЦПД-8) или одним многоскоростным двигателем (ВЦП-16).

Вентиляторы местного проветривания. Не предусмотрена регулировка режимов у малых осевых вентиляторов ВМ-3М и ВМ-4М. Вентиляторы ВМ-5М, ВМ-6М, ВМ-8М и ВМ-12М регулируются осевым направляющим аппаратом. Вентиляторы ВМ-12А и ВМЭ-12А имеют возможность грубой регулировки с

помощью установки одного из трех сменных венцов рабочего колеса.

Вентиляторы с пневмоприводом ВМП-4, ВМП-5 и ВМП-6М регулируются изменением оборотов рабочего колеса подачей сжатого воздуха через трехпозиционный кран с различным сечением сопел. Вентилятор ВКМ-200А не регулируются.

Вентилятор ВЦ-7 регулируется индивидуальным поворотом и закреплением закрылков рабочего колеса через специальные отверстия в кожухе на остановленной машине. Вентилятор ВЦ-9 регулируется ОНА.

Необходимо иметь в виду, что большинство вентиляторов могут работать с двигателями, имеющими скорость вращения, отличную от указанной в аэродинамической характеристике. Принимая для привода вентилятора двигатель с другой скоростью вращения, можно получить дополнительную возможность по регулированию режимов. При установке двигателя с другой скоростью вращения следует иметь в виду:

Ф необходимость обеспечения механической прочности конструкций вентилятора;

Ф необходимость пересчета аэродинамической характеристики вентилятора в соответствии с формулами (2.7), (2.8) и (2.9);

Ф необходимость обеспечения эффективности работы.

Эффективность работы вентилятора в любом из режимов определяется величиной *удельной* мощности на валу вентилятора при работе в этом режиме.

Удельная мощность ($\text{кВт} \cdot \text{с}/\text{м}^3$) находится с помощью выражения

$$N_{\text{уд}} = \frac{H_B}{1000h_{\text{cm}}} \quad (5.10)$$

Возвращаясь к рис. 5.2 и подставив значения депрессий и КПД режимов B_2 и C_2 в выражение (5.10), можно найти и сравнить удельную мощность в этих режимах и, следовательно, выбрать способ регулировки по эффективности. Аналогично решается вопрос сравнения режимов B_1 и C_1 . Практически всегда предпочтительным оказывается режим с меньшей депрессией, т.е.

режимы C_2 и B_1 будут эффективнее режимов B_2 и C_1 соответственно. Объясняется это обстоятельство тем, что весома́я разница в депрессиях сравниваемых режимов не компенсируется разницей в КПД режимов.

Учитывая изложенное выше, в заключение можно отметить:

F снижение производительности вентилятора с точки зрения эффективности режимов выгоднее осуществлять уменьшением угла поворота лопаток рабочего колеса;

F увеличение производительности вентилятора выгоднее производить уменьшением сопротивления сети.

Окончательно способ регулирования выбирается с учетом технологических возможностей выполнения перехода в новый режим и эффективности работы вентилятора в этом режиме.

По аналогии с приведенным примером могут быть найдены оптимальные варианты регулирования режимов вентилятора любой конструкции.

Следует добавить, что перевод вентилятора в новый режим – грубое регулирование, и выполняется этот прием не часто. Во избежание экономических потерь в дальнейшем при работе вентилятора в этом новом режиме, все расчеты аэродинамического и экономического порядков должны быть выполнены заблаговременно и с учетом всех побочных обстоятельств.

В приведенном примере рассмотрены вопросы регулирования осевых вентиляторов. При регулировании вентиляторов центробежных изменением скорости вращения (при наличии такой возможности) или изменением угла поворота лопаток ОНА, схема, изображенная на рис. 5.2 будет выглядеть несколько иначе. Однако методика определения эффективности режимов по удельной мощности применима в любом случае и дает возможность выбора способа регулирования любого вентилятора.

Вопросы для самоконтроля

1. Как определяется необходимая производительность вентилятора, по которой будет выбираться вентилятор?

2. Как определяется необходимая депрессия вентилятора? Почему для выбора вентилятора требуется знать значения максимальной и минимальной депрессий вентиляционной сети?

3. Каким требованиям должен удовлетворять правильно выбранный вентилятор?

4. Приведите основные рекомендации по выбору вентилятора, работа которого на шахтную сеть могла бы гарантировать высокую надежность и экономичность?

5. Нанесите несколько произвольных режимов работы вентилятора на ОПИ в рис.5.1 и прокомментируйте их достоинства и недостатки. Дайте заключение о целесообразности работы вентилятора в этих режимах.

6. Что такое «глубина регулирования»?

7. Какой из параметров вентилятора (напор, производительность) при регулировании является главным?

8. Каким параметром определяется эффективность работы вентилятора в различных режимах при регулировании?

9. Какие технические возможности предусмотрены для регулирования параметров у современных осевых вентиляторов?

10. Как регулируются рабочие параметры современных центробежных вентиляторов?

11. Как регулируются параметры современных вентиляторов местного проветривания? Какие из ВМП не регулируются?

12. Что произойдет с ОПИ вентилятора, если с его рабочего колеса снять часть лопаток?

Привод вентиляторов

Основной вид привода главных шахтных вентиляторов и большей части ВМП – электродвигатели.

В связи с использованием больших мощностей и высоких скоростей вращения в качестве приводных применяются исключительно трехфазные электродвигатели. Используются электродвигатели как синхронные (только для главных вентиляторов), так и асинхронные. Пневматический привод, как исключение, применяется для некоторых специальных вентиляторов местного проветривания.

Правила комплектации главных вентиляторных установок увязывают применение того или иного типа электродвигателя с величиной мощности на валу вентилятора: при потребной мощности 100÷150 кВт применяются низковольтные асинхронные двигатели с короткозамкнутым или фазным ротором; при мощности 150÷350 кВт – низковольтные синхронные двигатели; при мощности превышающей 350 кВт – высоковольтные синхронные двигатели напряжением 6 кВ.

Основным параметром электродвигателя при оснащении вентиляторной установки является его мощность. Двигатель подбирается по максимальной мощности, потребляемой вентилятором в течение какого-то расчетного длительного срока его работы.

Необходимая мощность электродвигателя рассчитывается исходя из выражения

$$N_{ДВ} = 1,2k \frac{Q_{В.маx} H_{В.маx}}{1000h_{cm}}, \quad (6.1)$$

где $Q_{в.маx}$, $H_{в.маx}$ – производительность (m^3/c) и депрессия (Па) в самом тяжелом режиме расчетного периода;

k – коэффициент, учитывающий плотность воздуха, принимается в зависимости от температуры наружного воздуха в холодный период года; при температуре $t = -10 \div -50$ °С, $k = 1,05 \div 1,25$;

$\eta_{ст}$ – статический коэффициент полезного действия вентилятора, соответствующий расчетному режиму. Статический КПД принимается по аэродинамической характеристике.

Главные вентиляторные установки комплектуются двигателями общепромышленного применения, рассчитанными на установку и работу в помещении с положительными температурами в любое время года. Параметры атмосферы помещений должны быть в пределах:

температура воздуха, °С+5 +35;
 влажность относительная до 85;
 запыленность воздуха, мг/м³ до 10.

Нерегулируемый электропривод

подавляющее большинство вентиляторов главного проветривания комплектуется нерегулируемыми односкоростными двигателями. Исключение составляют вентиляторы ВЦПД-8, ВЦПД-16, ВЦД-32, ВЦД-40, ВЦД-47А "Север", ВЦД-47У-Р и ВРЦД-4,5.

Нерегулируемый электропривод в зависимости от необходимой мощности обеспечивается асинхронными машинами А, А4, АО, АК, АКН, АКС и синхронными – СД, СДВ, СДС и СДН. Применяемые асинхронные двигатели могут иметь короткозамкнутый или фазный (АКН, АКС) роторы.

Обычно пуск асинхронных двигателей осуществляется подачей полного напряжения питания на обмотки статора, при наличии фазного ротора используются пусковые устройства в виде сопротивлений и контакторов в цепи ротора. Синхронные двигатели запускаются в асинхронном режиме и переводятся в синхронный после достижения скорости, составляющей 95 ÷ 97% от скорости синхронной. Применяется пуск синхронных двигателей с помощью специального разгонного асинхронного двигателя.

Шахтные ГВУ относятся к машинам с тяжелым и длительным режимом пуска. Практически все вентиляторы соединяются с

двигателями с помощью зубчатых муфт, обеспечивающих постоянство соединения и компенсацию линейных дисбалансов. Поэтому отличительной особенностью работы двигателей в комплексе главной вентиляторной установки является их пуск, осуществляемый при наличии значительной нагрузки на валу в виде вентилятора.

Для облегчения пуска двигателей вентиляторов предусмотрены мероприятия конструкционного порядка в вентиляторах и мероприятия в схемах пускорегулирующей аппаратуры электродвигателей.

Сброс мощности в ГВУ в момент запуска в зависимости от типа вентилятора и его конструкции осуществляется с помощью:

Ф поворота лопаток осевого направляющего аппарата вентиляторов центробежных в положение $70 \div 90^\circ$, т.е. уменьшение сечения входного коллектора вентилятора вплоть до полного закрытия. В установках с вентиляторами ВЦД-47У предусмотрен специальный механизм сброса мощности при пуске;

Ф временной установки лопаток спрямляющего аппарата на угол $35 \div 45^\circ$ у осевых вентиляторов;

Ф пуска вентиляторов с закрытыми отсекающими лядами в схеме вентиляционных каналов ГВУ.

В схемах пускорегулировочной аппаратуры двигателей вентиляторов предусматриваются элементы, контролирующие весь процесс пуска и входа двигателя в рабочий режим. Все операции по пуску автоматизированы.

Привод вентиляторов местного проветривания

Абсолютное большинство вентиляторов местного проветривания комплектуется электроприводом в виде асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

В вентиляторах ВМ-3М, ВМ-4М, ВМ-5М, ВМ-6М и ВМ-8М используются двигатели ВАОМ с числом оборотов 3000 мин^{-1} , отличающиеся только мощностью. Более крупные вентиляторы ВМ-12 комплектуются асинхронными двигателями ВРМ-280 с 1500 мин^{-1} .

Центробежные вентиляторы ВЦ-7, ВЦ-9 и ВМЦ-6 комплектуются низковольтными асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором.

Следует отметить, что никаких проблем, связанных с пуском ВМП не возникает, они запускаются простой подачей напряжения на обмотки статора пусковыми приборами.

В пневматических вентиляторах в качестве энергии используется сжатый воздух, приводящий в движение рабочее колесо с помощью специальной турбинки, являющейся частью этого рабочего колеса. Давление сжатого воздуха (избыточное) составляет $0,3 \div 0,5$ МПа, расход варьируется от 1,2 (ВКМ-200А) до 19,5 (ВМП-6М) м³/мин.

Скорость вращения рабочего колеса регулируется изменением входного сечения сопла сжатого воздуха (кроме ВКМ-200А).

Привод со ступенчатым регулированием скорости

Ступенчатое регулирование скорости вращения вентилятора может осуществляться несколькими вариантами:

Ф вентиляторная установка (ВРЦД-4,5) комплектуется одним асинхронным двигателем (рис.6.1, ДВ) и генератором пониженной (25 Гц) частоты, позволяющим уменьшить скорость вращения вдвое. При необходимости перехода вентилятора на пониженные параметры, основной двигатель отключается от сети и включается машинный преобразователь ДГНЧ-ГНЧ. После снижения скорости вала до пониженной (375 мин^{-1}), основной двигатель получает питание от генератора ГНЧ для дальнейшей работы в режиме пониженной скорости;

Ф вентиляторная установка комплектуется двумя двигателями, имеющими разную скорость вращения. Такая комплектация имеется у вентилятора ВЦПД-8 (два асинхронных двигателя со скоростями 3000 и 1500 мин^{-1}), ВЦП-16 (два асинхронных двигателя со скоростями 1500 и 1000 мин^{-1}) и ВРЦД-4,5 (синхронно-асинхронный двухмашинный агрегат) и ВРЦД-4,5 (синхронно-асинхронный двухмашинный агрегат). Машинный агрегат ВРЦД (рис. 6.2) состоит из жестко соединенных и расположенных

соосно на одной раме двух двигателей – синхронного СДВ и асинхронного АДВ. Большая скорость вращения (500 мин^{-1}) вентилятора соответствует номинальной скорости синхронного, меньшая (375 мин^{-1}) – асинхронного двигателей.

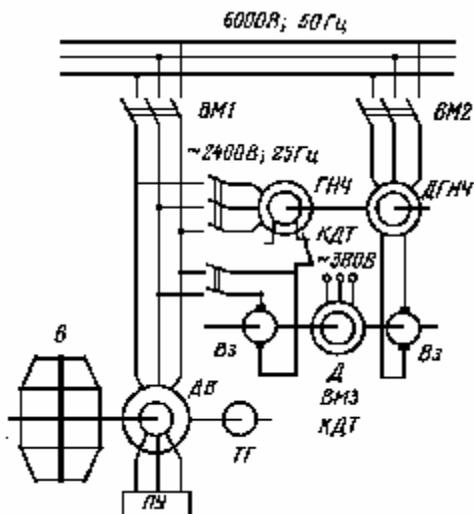


Рис.6.1. Схема приводной установки вентилятора ВРЦД-4,5 с одним двигателем и генератором пониженной частоты: В – вентилятор; ДВ – двигатель; ВМ1, ВМ2, ВМ3 – масляные выключатели; ДГНЧ – двигатель генератора частоты; ГНЧ – генератор; ПУ – пусковое устройство; ТГ – тахогенератор; ВЗ – возбудители; Д – двигатель возбудителей

Пуск и работа установки с меньшей скоростью осуществляется подачей напряжения на обмотки статора АДВ, раскручивается асинхронный двигатель до нужной скорости пусковым устройством ПУ (фазный ротор с сопротивлениями и контактором). Перевод агрегата в режим большей скорости выполняется последовательным отключением двигателя АДВ от питания, подачей питания к двигателю СДВ, раскручивания его в асинхронном режиме до подсинхронной скорости, подключения его к возбудителю ВЗ и входа двигателя в синхронный режим.

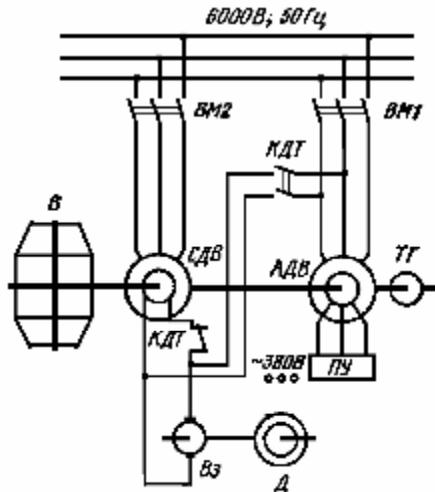


Рис.6.2. Схема приводной установки вентилятора ВРЦД-4,5 с двумя двигателями: В – вентилятор; АДВ – асинхронный двигатель; СДВ – синхронный двигатель; ВМ1, ВМ2 – масляные выключатели; ПУ – пусковое устройство; ТГ – тахогенератор; ВЗ – возбудитель; Д – двигатель возбудителя

Ф вентиляторная установка комплектуется одним асинхронным двигателем, конструкция которого позволяет ступенчато менять скорость вращения. Вентилятор ВЦП-16 по желанию заказчика может быть укомплектован двигателем АО-114-12/8/6/4 со скоростями вращения соответственно 500, 750, 1000 и 1500 мин⁻¹.

Привод с плавным регулированием скорости

Применение привода с плавным регулированием скорости вращения позволяет значительно расширить зону экономичной работы вентиляторов. Прирост эффективности обуславливается широким диапазоном высокого статического коэффициента полезного действия в области промышленного использования вентилятора. Это обстоятельство приобретает особый вес при использовании крупных центробежных вентиляторов, к которым относятся вентиляторы с диаметром рабочего колеса более 3 м, у

которых регулирование с помощью механизма поворота лопаток осевого направляющего аппарата не позволяет достигнуть нужной глубины регулирования.

Плавное регулирование скорости осуществляется применением вентиляно-машинных каскадов, которыми комплектуются вентиляторы ВЦД-32М, ВЦД-40, ВЦД-47А "Север" и ВЦД-47У-Р.

Вентиляно-машинный каскад ГВУ ВЦД-32М (рис.6.3) состоит из двух главных асинхронных двигателей ДВ с фазным ротором АКН2-16-57-12У4, инверторного агрегата, включающего синхронную машину СМ и машины постоянного тока ДП, и кремниевого выпрямителя НКВ1.

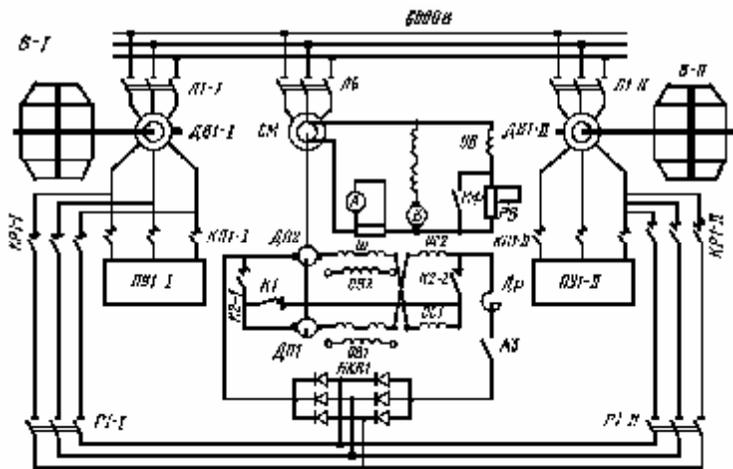


Рис.6.3. Схема вентиляно-машинного каскада привода ВЦД-32М: В – вентиляторы; ДВ1 – главные двигатели; Л – масляные выключатели; СМ – синхронная машина; ПУ1 – пусковые роторные устройства; В – возбудитель синхронной машины; РВ – регулятор возбуждения; НКВ1 – неуправляемый кремниевый выпрямитель; Р1 – разъединители цепи инвертора; ДП – машины постоянного тока

Скорость приводных двигателей регулируется по принципу подачи в цепь их фазных роторов противо-э.д.с. от машин постоянного тока инверторного агрегата, в свою очередь регулируемых величиной тока в обмотках возбуждения ОВ1 и ОВ2.

Плавное регулирование скорости вращения осуществляется в диапазоне $0,50 \pm 0,97$ от номинальной скорости ($300 \pm 595 \text{ мин}^{-1}$). При работе приводного двигателя ДВ1 на пониженной скорости (по сравнению с номинальной – 600 мин^{-1}), энергия скольжения через кремниевый выпрямитель НКВ1 подается на машину постоянного тока ДП. Соединенная общим валом с синхронной машиной СМ машина постоянного тока в этом случае работает как двигатель, синхронная машина в генераторном режиме возвращает энергию скольжения в сеть.

Управление пуском двигателей и регулирование их скоростей полностью автоматизировано и осуществляется по заданной программе.

Следует отметить, что при выходе из строя агрегата вентиляльно-машинного каскада, вентилятор продолжает работу в режиме скорости асинхронного двигателя (номинальной).

Недостаток регулировки скорости вращения вентиляльно-машинным каскадом – возможность регулирования только в сторону снижения скорости от номинальной.

Вопросы для самоконтроля

1. Какой привод применяется для главных и вспомогательных шахтных вентиляторов? У ВМП?
2. Как подсчитать необходимую мощность приводного двигателя вентилятора? Приведите существующие рекомендации по применению типов двигателей в зависимости от их мощности.
3. Как подразделяются виды приводов по возможности регулирования скорости их вращения?
4. Приведите мероприятия по облегчению запуска мощных асинхронных двигателей под нагрузкой.
5. Назовите варианты технического исполнения ступенчатого регулирования скорости вращения привода.
6. Назовите варианты технического исполнения плавного регулирования скорости вращения привода.
7. Каким приводом обеспечиваются ВМП?

Вентиляторные установки

Вентиляторные установки – назначение и комплектация

Шахта – подземное горное предприятие, технология которого сопряжена с необходимостью проведения рабочих процессов, в результате которых в атмосферу горных выработок выделяется большое количество вредных веществ в виде газов и пыли. Ситуация усугубляется дополнительным выделением газов из полезного ископаемого и пород. Появляется необходимость борьбы с этими вредными веществами путем их разжижения до безопасных концентраций подаваемым в выработки воздухом. Проветривание – процесс, без которого нормальная работа шахты невыполнима даже в течение самого короткого промежутка времени.

Подача воздуха в горные выработки шахты должна быть непрерывной и в полном необходимом объеме. Это требование предопределяет необходимость использования мощных, надежных машин. Более того, Правила безопасности предусматривают необходимость обеспечения возможности оперативной замены вышедшего из строя вентилятора резервным. Для газовых шахт это требование является обязательным, для остальных – рекомендательным.

Аварийные ситуации, возникающие в шахтах (пожары, взрывы газа и пыли, обрушения горных пород) часто требуют проведения действий по управлению воздушной струей в количественном отношении (ослабление струи, усиление) и по изменению направления ее движения.

Главные шахтные вентиляторы для обеспечения нормального проветривания шахты или ее проветривания в аварийной ситуации с достаточно высокими показателями по эффективности, надежности и экономичности должны быть укомплектованы дополнительными сооружениями, устройствами и механизмами.

Возникает необходимость объединения всего обеспечивающего проветривание оборудования в общее понятие – *вентиляторная установка*.



Вентиляторной установкой принято называть комплекс оборудования, сооружений и устройств, обеспечивающих устойчивое и надежное снабжение шахты достаточным количеством воздуха при нормальной работе и в любой аварийной ситуации

Вентиляторная установка является главной частью системы проветривания шахты.

Главные вентиляторы, их привод, пускорегулирующая аппаратура, контрольно-измерительные установки, приборы и многое другое оборудование устанавливаются в одном специальном обогреваемом здании, находящемся у одной из главных выработок шахты. Место расположения здания зависит от того, как работает вентилятор – на всасывание или нагнетание. Здание вентиляторной установки должно быть герметичным, светлым и просторным. При нагнетательном способе вентиляции шахты здание вентиляторной установки часто объединяется с калориферной установкой, располагающейся на всасывающей стороне вентилятора. В этом случае несколько увеличивается необходимая депрессия вентилятора (200 ÷ 300 Па), но при этом отпадает необходимость в построении специального здания для калорифера и в установке специального вентилятора.

При наличии в вентиляторной установке двух вентиляторных агрегатов возникает необходимость создания системы каналов, соединяющих вентиляторы с внешней атмосферой и шахтной вентиляционной сетью. Эта система специальных каналов должна обеспечивать независимую работу каждого из вентиляторов на вентиляционную сеть шахты и предусматривать невозможность одновременной работы обоих вентиляторных агрегатов. В эту систему входят собственно каналы, переключающие устройства,

привод и механизмы управления переключающими устройствами и аппаратура автоматики.

Шахтные вентиляторные установки, укомплектованные нереверсивными вентиляторами (центробежными и осевыми серии ВОКД) для обеспечения возможности управления направлением воздушной струи, обеспечиваются системой реверсирования. Эта система состоит из дополнительных прямоточных и обводных каналов, соединяющих входные и выходные части вентиляторов с шахтной вентиляционной сетью и переключающих устройств с приводами и аппаратурой управления.

Вентиляторные каналы всех назначений располагаются на небольшой площади промплощадки и связаны с ограничениями по величине площади их сечений и радиусов закруглений. Для сооружения каналов используется железобетон, кирпич или другие долговечные и прочные материалы. В небольших по мощности вентиляторных установках каналы выполняются из металла и пластмасс. Материал стенок вентиляторных каналов не должен быть пористым и пропускать воздух. Соединения отдельных частей установок тщательно герметизируются. Стенки каналов обеспечиваются гладкой поверхностью путем выравнивания и покрытия специальными составами. Переходы каналов делаются плавными во всех плоскостях, местные сопротивления в виде внезапных сужений, расширений, резких поворотов и острых кромок исключаются. Выходы из каналов в здание вентиляторной установки и в атмосферу оборудуются шлюзами и герметичными устройствами.

При всасывающем способе проветривания шахты для уменьшения потерь скоростного напора на выходе струи из вентилятора в атмосферу используется прием с плавным уменьшением скорости движения воздуха. Плавное уменьшение скорости достигается применением специальных блоков вентиляторной установки – диффузоров, представляющих собой пирамидальный или конусообразный раструб, раскрывающийся по направлению движения струи при нормальной вентиляции.

Оптимальный угол раскрытия диффузора составляет $9 \div 12^\circ$.

Шахтные вентиляторные установки, укомплектованные осевыми вентиляторами, снабжаются глушителями шума.

Работа шахтной вентиляторной установки неминуемо связана с потерями энергии в виде потерь давления на преодоление сопротивлений самой вентиляторной установки потоку воздуха и потерь в производительности в виде утечек через устройства установки и стенки каналов. На практике потери давления могут достигать $15 \div 30\%$ от депрессии вентилятора, а утечки – $5 \div 20\%$ от его производительности. Эти потери будут неминуемо сказываться на величине эксплуатационных расходов, в частности, на расходе электроэнергии в течение всего срока службы установки.

Повышение экономической эффективности шахтной вентиляторной установки закладывается в весь процесс ее создания – расчет проветривания шахты, определение параметров главной вентиляторной установки, выбор оборудования, проектирование систем вентиляционных каналов, проектирование здания вентиляторной установки обеспечение герметичности составляющих установки, обеспечение наименьших потерь давления. Следует помнить – экономия на качестве неминуемо приведет к последующим потерям при эксплуатации.

Типы вентиляторных установок

Состав оборудования, вид схемы подводящих каналов и каналов реверсивной установки, перечень и конструкции дополнительных устройств вентиляторной установки зависит от многих факторов: от типа применяемого вентилятора, от способности вентилятора к реверсированию струи; способа работы вентилятора с сетью, от количества сторон всасывания (только для вентиляторов центробежных).

Здание вентиляторной установки обычно сооружается на уровне поверхности, подземное расположение вентиляторов выполняется редко и только в исключительных обстоятельствах. Вентилятор в здании располагается так, чтобы ось его ротора была строго горизонтальна.

Главные подводящие или отводящие каналы установки могут быть прямыми и горизонтальными только в случае, когда канал сопрягается со штольной, в остальных случаях каналы

заглубляются или делаются наклонными для возможности сопряжения с выработками на какой-то глубине.

Вентиляторные установки с осевыми вентиляторами могут иметь реверсивные устройства или их не иметь. Реверсивными системами обязательно обеспечиваются установки на основе вентиляторов серии ВОКД (рис.7.1).

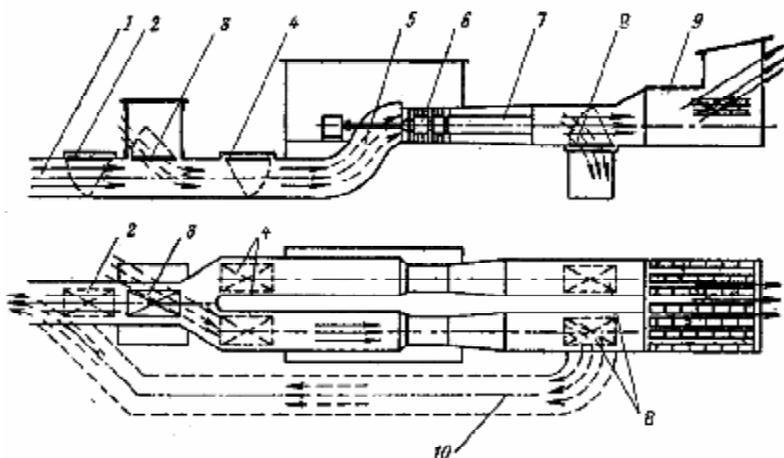


Рис.7.1. Схема вентиляторной установки с нереверсивным вентилятором ВОКД-3: 1 – подводящий канал; 2 –отсекающая лядя канала; 3 – лядя всасывающей будки; лядя переключения; 5 – утка; 6 – вентилятор; 7 – диффузор; 8 – лядя диффузоров; 9 – глушитель шума; 10 – обводной канал

Эти вентиляторные установки имеют подводящий канал 1 с двумя изгибами в вертикальной плоскости, для компенсации разницы отметок входного канала вентилятора и уровня сопряжения с выработками вентиляционной сети шахты (ствол, шурф и т.п.). Два изгиба в вертикальной плоскости образуют участок канала, называемый уткой. Повороты канала (изгибы) выполняются плавными, благодаря использованию двух радиусов закругления. Прямоугольная форма канала в месте сопряжения с сетью шахты на участке поворотов постепенно переходит в круглую, соответствующую форме сечения всасывающего коллектора вентилятора.

Каждый из вентиляторов установки имеет свой диффузор 7. В зависимости от наличия свободного пространства на промплощадке, диффузор может быть вертикальным, наклонным или горизонтальным.

К диффузору непосредственно примыкает глушитель шума 9. Работа систем подвода воздуха к вентилятору и реверсирования струи обеспечивается шестью лядами: две ляды 8 при работе на всасывание перекрывают обводной канал 10; лядя входной будки 3 закрыта при нормальной работе, служит для пропуска воздуха из атмосферы при работе на нагнетание; лядя 2 перекрывает канал подвода воздуха со стороны сопряжения с сетью от вентилятора при реверсировании струи; две ляды 4 обеспечивают переключение вентиляторов. Переключающие ляды 4 всегда находятся в разных положениях: лядя работающего вентилятора поднята, резервного – опущена.

Схема движения воздушных струй при нормальной работе установки – струя воздуха, поступающего из шахты в подводящий канал, проходит через поднятую отсекающую лядю 2 и переключающую лядю работающего вентилятора 4 к рабочему колесу, далее в диффузоре проходит над опущенной лядой 8 обводного канала 10 и выходит к глушителю шума 9. Путь струи показан сплошными стрелками.

Для переключения установки на реверсивную работу не останавливая вентилятор открывают лядю 3 входной будки, поднимают лядю 8 обводного канала и опускают отсекающую лядю 2 подводящего канала. Путь опрокинутой струи показан пунктирными стрелками.

В соответствии с требованиями ПБ система реверсирования должна обеспечивать смену направления струи не более чем за 10 минут. Управление системой реверсирования должно быть автоматизировано.

В шахтных вентиляторных установках, укомплектованных реверсивными вентиляторами серии ВОД, отсутствует обводной канал с его лядями, входная будка и отсекающая лядя. Диффузоры вентиляторов объединяются и комплектуются общим глушителем шума. Установки дополнительно комплектуются отсекающими лядями, устанавливаемыми перед глушителем шума. Назначение

этих ляд – изоляция работающего вентилятора от резервного со стороны нагнетания.

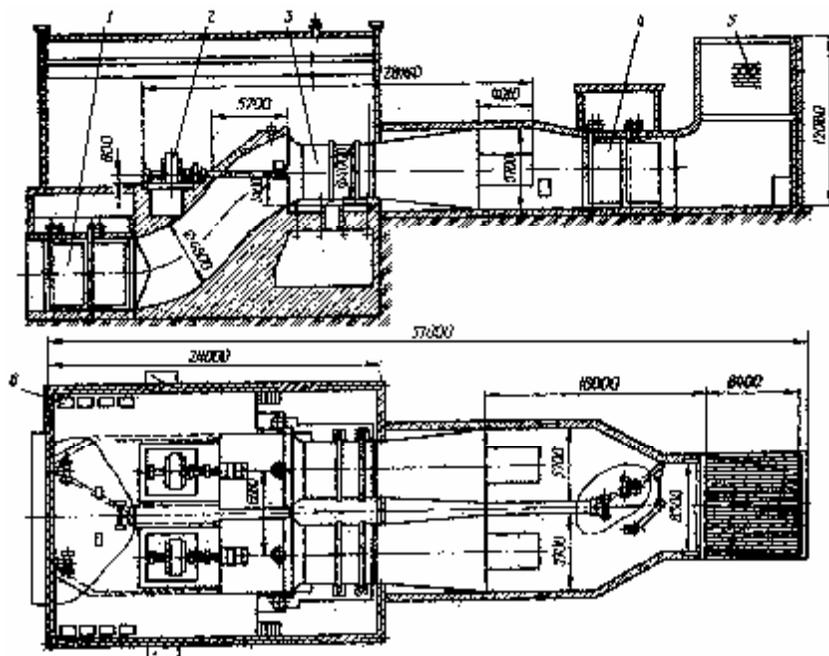


Рис.7.2. Установка с вентилятором ВВД-40, работающая в нормальном режиме на всасывание: 1 – подводящий канал; 2 – привод; 3 – вентилятор; 4 – переключающие двери в диффузоре; 5 – глушитель шума

Вентиляторная установка, предназначенная для работы на всасывание (рис.7.2), оборудуется переключающими дверями в подводящем канале 1 и в диффузоре 4. Двери установлены в конце подводящего канала и перед глушителем шума соответственно. Глушитель шума в установке один. При реверсировании струи воздух к вентиляторам подводится через глушитель шума.

Установка, предназначенная для работы на нагнетание (рис.7.3), оборудуется переключающими дверями 1 и 4, установленными после глушителя шума и после диффузоров в нагнетательном канале. Отсекающая лядя 7 работает при переходе на

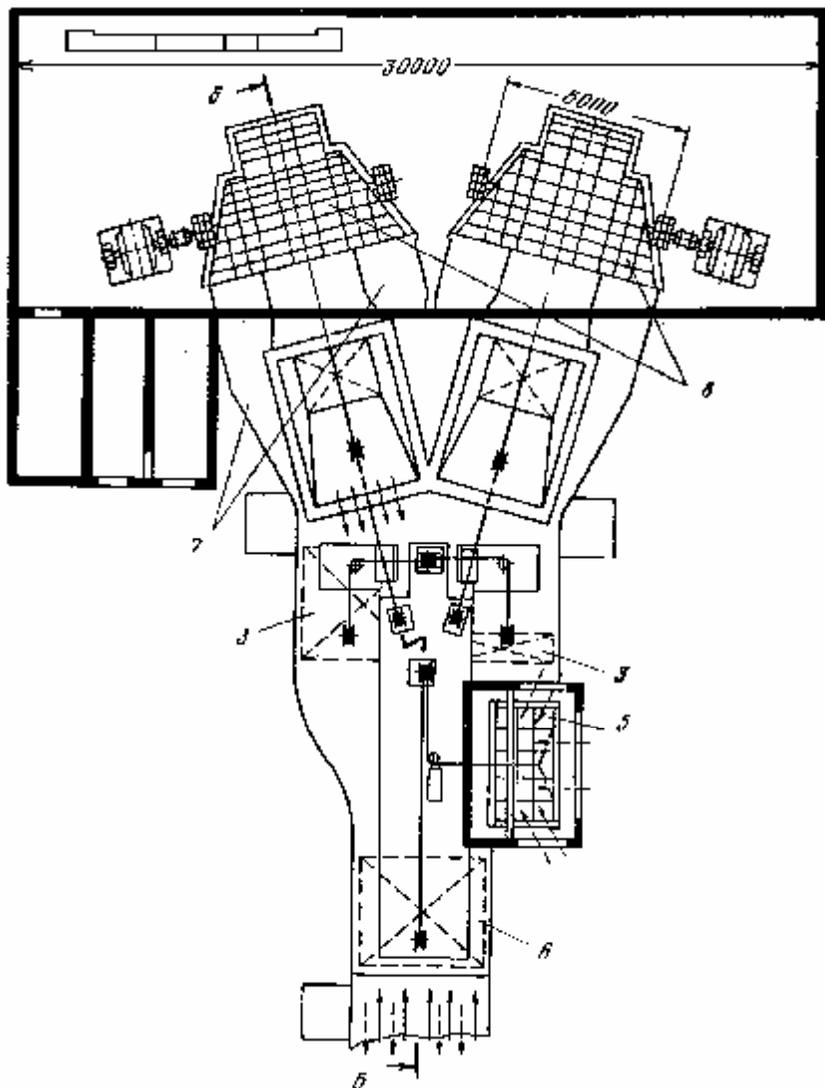
под подводящим и отклонением диффузоров вентиляторов вверх от горизонта под углом 60° .

При работе на всасывание воздушная струя от шахтной сети идет по подводящему каналу мимо поднятой отсекающей ляды 6 к входным коллекторам 7 рабочего вентилятора 8. Пройдя вентилятор, струя воздуха выбрасывается в атмосферу через диффузор 1. Ляды всасывающей будки 5 в этом случае опущены и отсекают вход атмосферного воздуха в подводящий канал. Ляда переключения 3 рабочего вентилятора поднята, резервного – опущена. Путь воздушной струи при прямой работе показан сплошными стрелками.

При работе на нагнетание в случае реверсирования струи атмосферный воздух из будки всасывания поступает через открытую ляду 5 в подводящий канал. Воздух проходит через всасывающие коллекторы 7 на рабочее колесо вентилятора, затем через проем поднятой ляды 2 диффузора в обводной канал 4 и, через проем опущенной отсекающей ляды 6, в подводящий канал и сеть шахты. Переключающие ляды в процессе реверсирования не участвуют, их роль остается прежней – подача воздуха к работающему вентилятору. Путь реверсированной струи показан штриховыми стрелками.

Вентиляторные установки, укомплектованные другими центробежными вентиляторами, могут иметь некоторые отличия от описанной схемы. Установки с вентиляторами одностороннего всасывания упрощены выполнением одного всасывающего коллектора, агрегаты часто устанавливаются параллельно.

В районах с отрицательными зимними температурами воздуха эксплуатация вентиляторных установок сопряжена с появлением нежелательных особенностей. Поскольку в отапливаемых зданиях находятся только вентиляторные агрегаты с их приводами и аппаратурой управления и контроля, а системы каналов переключения и реверсирования подвержены воздействию холодного воздуха, надежность работы этих систем резко снижается.



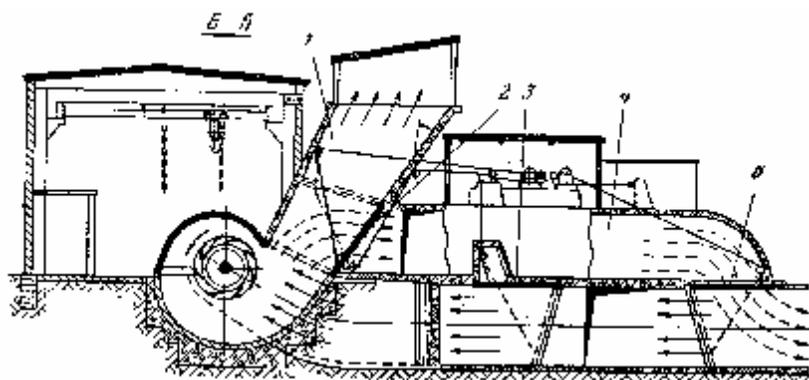


Рис.7.4. Схема вентиляторной установки с вентилятором ВЦД-32М: 1 – диффузор; 2 – ляда диффузора; 3 – ляда переключения вентиляторов; 4 – обводной канал; 5 – ляда всасывающей будки; 6 – отсекающая ляда; 7 – подводящий канал; 8 – вентилятор

Омываемые со стороны канала теплым и влажным воздухом поверхности ляд, другой поверхностью контактируют с холодным атмосферным воздухом. В результате такого воздействия по периметру проемов ляд образуется лед, нарушающий нормальную их работу. Влажный шахтный воздух может попадать на рабочее колесо и, замерзая на нем, создавать дисбалансные разрушающие нагрузки на роторе вентилятора. Определенную опасность представляет засасываемый из атмосферы холодный воздух при реверсировании струи.

В связи с упомянутыми обстоятельствами ПБ предусматривают необходимость разработки мер по предупреждению обмерзания проточной части вентиляторов, каналов и переключающих устройств вентиляторных установок.

Для работы при отрицательных температурах в зимнее время разработаны конструкции *необмерзаемых* установок с осевыми вентиляторами серии ВОД и центробежными вентиляторами ВЦД-47У, ВЦД-47А "Север", ВЦ-31,5М и ВЦД-32М.

Основным мероприятием, обеспечивающим нормальную работу вентиляторной установки в зимний период, является объединение диффузоров вентиляторных агрегатов в один с созданием

теплой воздушной завесы, ограждающей оборудование резервного вентилятора и всех переключающих и отсекающих ляд от холодного атмосферного воздуха. Дополнительно к этому применяется омывание теплым воздухом всасывающей будки вентиляторной установки.

Вспомогательные устройства установок

Исполнительными устройствами систем переключения и реверсирования вентиляторных установок являются различного типа ляды с их приводом.

По конструкции ляды обычно подразделяют на *падающие* и *поворачивающиеся* вокруг своей оси с помощью канатов и самодонные.

Ляды с канатным приводом (рис.7.5, а) обычно представляют собой конструкцию, состоящую из полотна 4 прямоугольной формы, с закрепленной на одной из сторон подвеской 2 с шарнирами 3. Полотно ляды состоит из рамы, сваренной из прокатного металла, обшитой с одной или обеих сторон листовой сталью. Полотно опирается на раму 1, выполненную из металлопроката и заделанную в бетонные стены канала. Для улучшения герметичных свойств ляды и уменьшения подсосов через ляду по периметру примыкания полотна к раме закрепляется уплотнительное устройство. Уплотнительное устройство выполняется либо в виде обычной резиновой прокладки, либо применяется более сложная конструкция, показанная на рисунке. Такое устройство состоит из ленты толстой резины 6, закрепленной на внутреннем обводе рамы с выступающим в сторону полотна торцом. На полотне, кроме этого, закреплена полая, формованная тонкостенная резиновая лента 7, способная создавать упругое заполнение между полотном и торцом толстой резины.

Для обеспечения надежного контакта ляды с рамой в рабочем состоянии полотно ляды наклонено верхней частью к раме. Подъем ляды в положение "открыто" осуществляется с помощью канатов, прикрепленных к полотну рымом 8. Подъемные канаты ляды проходят через отклоняющий блок 11 и специальное

уплотнение в стене канала к барабанной лебедке 10. Для своевременной остановки лебедки при подъеме ляды предусмотрены концевые выключатели 12. При необходимости дополнительного усилия для опускания ляды в положение "закрыто", предусматриваются лебедка и канат принудительного закрывания, закрепляемый на нижней стороне полотна ляды. При этом дополнительно предусматривается система отклоняющих блоков и автоматика работы ляды.

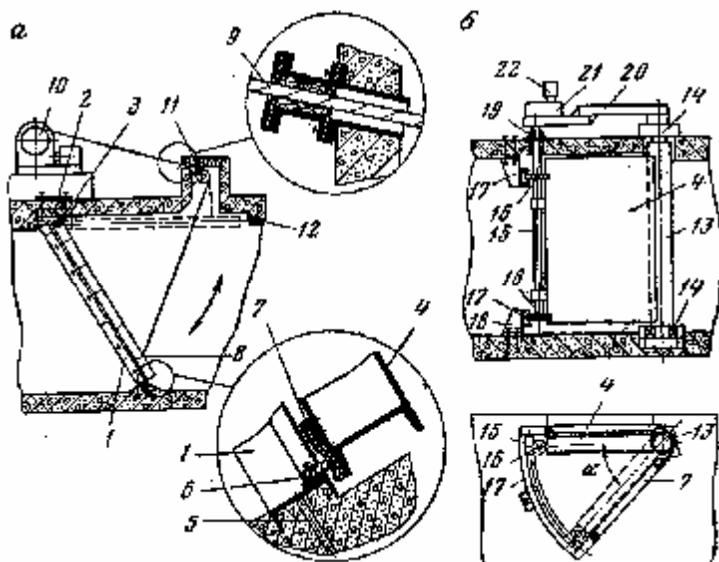


Рис.7.5. Конструкции ляд: а – лядя падающая, б – лядя самоходная; 1 – рама; 2 – подвесное устройство; 3 – шарнир; 4 – полотно ляды; 5 – крепежный элемент; 6 – полоса резины; 7 – полая резиновая прокладка; 8 – крепежный рым; 9 – канат; 10 – лебедка; 11 – блок; 12 – конечный отключатель; 13 – ось ляды; 14 – подшипник; 15 – приводной вал; 16 – шестерня привода; 17 – сектор; 18 – кронштейн крепления; 19 – изолирующая прокладка; 20 – рама привода; 21 – редуктор; 22 – двигатель

Преимущество падающих ляд – простота конструкции, недостаток – низкая надежность, обусловленная малой жесткостью конструкции, коррозией шарнирных устройств, канатов и блоков.

Ляды самоходные, в отличие от первых, выполняют с вертикальной осью шарниров и снабжают индивидуальным механическим приводом. Плотный контакт полотна ляды с рамой задается специальным рычажным или цевочным механизмом.

Основные детали самоходной ляды – сварная рама 1 из металлопроката; полотно 2, установленное на трубчатой оси 13, вращающейся в верхнем и нижнем подшипниках 14; приводной вал 15, закрепленный на вертикальном наружном торце ляды с шестернями 16, находящимися в зацеплении с секторами 17. Зубчатые (цевочные) сектора закреплены жестко на дне канала и верхнем его перекрытии с помощью креплений 18. Приводной вал передвигается по кольцевой щели в верхнем перекрытии. Уплотнение кольцевой щели обеспечивается сходящимися листами резины 19. Двигатель привода ляды с редуктором располагается на раме, укрепленной на оси ляды 13 над каналом. Уплотнение между рамой ляды и ее полотном выполнено по описанному выше принципу. Герметичность уплотнения обеспечивается прижатием полотна к раме приводным двигателем, отключающимся автоматически только после достижения необходимой величины усилия.

Самоходные ляды вентиляторной установки объединяются в общую схему управления и работают одновременно

Лебедки. Конструкция падающих ляд предусматривает их подъем в верхнее положение, а иногда и в нижнее рабочее, с помощью барабанов специальных лебедок. Закрывание ляд производится под действием собственного веса при сматывании каната с барабана лебедки. Вентиляторные установки комплектуются лебедками ЛРУ-1-2М и ЛГРУ-10М с тяговым усилием соответственно 5 и 10 тс. Лебедки укомплектованы двухступенчатыми редукторами и двигателями в рудничном взрывобезопасном исполнении (РВ). Обе лебедки имеют защиту электродвигателей от перегрузки в виде фрикционных дисковых муфт, регулируемых по нагрузке, и оборудованы автоматическими тормозными системами. Лебедка ЛРУ-1-2М имеет ручной привод на случай отказа в системе управления или электропитания.

Глушители шума. Осевые вентиляторы, особенно быстроходные, при работе создают шум, превышающий общепринятые санитарные нормы. Снижение уровня шума до допустимых

параметров на шахтных вентиляторных установках осуществляется установкой специальных устройств, называемых глушителями шума.

Глушители шума ставятся на выходе струи за диффузором и представляют собой камеру с продольными перегородками вдоль струи, они разделяют объем камеры на продольные секции. Перегородки выполняют из пористых, звукопоглощающих материалов. Обслуживание глушителей шума заключается в периодической очистке перегородок от пыли и мойке водой с добавлением ПАВов для восстановления их пористости. Следует иметь в виду, что установка глушителей шума неминуемо вызывает потерю напора вентилятора, величина потери давления зависит от объема камеры глушителя шума, количества секций в камере и состояния перегородок.

Аппаратура управления, автоматизации и контроля

Шахтные вентиляторные установки представляют собой комплекс работающих совместно сложных систем – двух вентиляторных агрегатов, вентиляционных каналов реверсивного устройства и подвода воздуха к вентилятору. Вентиляторные агрегаты оснащены мощными и сложными машинами, системы вентиляторных каналов имеют вспомогательные устройства, работающие совместно или независимо. При пуске агрегатов, смене работающего вентилятора на резервный, реверсировании вентиляционной струи надо выполнить большое количество операций с соблюдением определенной последовательности, исключая возможность ошибок. Для обеспечения нормальной работы вентиляторных установок на сеть в необходимом режиме требуется поддерживать большое количество параметров самой вентиляторной установки – температуру подшипников привода и ротора вентилятора, температуру обмоток привода, обороты вала, режим работы привода, работу системы смазки и т.п.

Все это приводит к необходимости иметь в составе шахтной вентиляторной установки набор аппаратуры, позволяющей автоматически управлять установкой, в том числе дистанционно, и контролировать все необходимые параметры.

Аппаратура управления, автоматизации и контроля шахтной вентиляторной установки – это комплекс сложных, работающих совместно систем, дополненный вспомогательными устройствами и механизмами. Системы работают в постоянно меняющихся комбинациях с определенной заданной последовательностью операций, осуществляя выполнение этой последовательности без вмешательства оператора или машиниста.

Все крупные вентиляторные установки комплектуются унифицированными комплексами аппаратуры УКАВ-2, серийно выпускаемыми Харьковским электромеханическим заводом. Комплексы УКАВ-2 разработаны для продолжительной работы в условиях умеренного (У) и холодного (Хл) климата, категория размещения 4, для работы в помещениях при температуре от +5 до +35 °С. комплексы предназначены для работы в невзрывоопасной среде, при отсутствии агрессивных газов, паров и пыли в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию аппаратуры. Комплекты аппаратуры для поставки оформляются в шкафы управления одностороннего обслуживания по системам.

Аппаратура УКАВ-2 выполняет набор функций:

Ф выбор вида управления. Возможен выбор любого из трех режимов управления: дистанционно-автоматического с пульта диспетчера, полуавтоматического в здании вентиляторной установки, ручного;

Ф перевод нормального режима работы вентилятора в реверсивный и наоборот;

Ф тонкое регулирование центробежных вентиляторов поворотом лопаток осевого направляющего аппарата на ходу;

Ф автоматическое включение резервного вентилятора при аварийном отключении работающего;

Ф автоматическое включение резервного питания (АВР) низкого напряжения;

Ф автоматическое повторное включение привода вентилятора при отключении его во время кратковременного (до 9 сек) отключения или глубокого падения напряжения сети;

F реверс струи без остановки вентилятора при наличии на вентиляторной установке системы реверсирования;

F отключение установки при возникновении аварийной ситуации с подачей светового и звукового сигнала в помещении диспетчерской шахты;

F автоматическое включение резервного насоса системы смазки при выходе из строя работающей системы.

Аппаратура УКАВ-2, путем блокировок соответствующих сетей, управляющих отдельными системами, механизмами и агрегатами, *обеспечивает невозможность:*

F одновременной работы обоих агрегатов установки;

F повторного или самопроизвольного включения привода вентилятора после оперативного или аварийного отключения без повторной команды на пуск до устранения причины отключения;

F включения приводов ляд при работе вентилятора, кроме случая реверсирования струи с работающим вентилятором;

F включения привода вентилятора до установки ляд в положение, соответствующее режиму работы вентилятора;

F переключения (переустановки) ляд до установки лопаток направляющего или спрямляющего аппаратов в положения, соответствующие выбранному режиму вентилятора;

F включения приводного двигателя вентилятора в обратную сторону до полной остановки;

F включения приводного двигателя вентилятора при неработающей системе маслосмазки;

F включения приводного двигателя вентилятора при заторможенном состоянии вала ротора.

Аппаратура УКАВ-2 *обеспечивает защиту* вентилятора от работы в аварийном режиме, отключая его в случае:

F короткого замыкания и перегрузки двигателя;

F замыкания на землю;

F асинхронного режима синхронного двигателя;

F заторможенного состояния ротора вентилятора;

Ф затаившегося пуска вентиляторного агрегата. Разгон вентилятора контролируется по времени. В случае затаившегося пуска происходит аварийное отключение агрегата или снятие неисполненной команды на пуск;

Ф нарушения работы системы маслосмазки.

В комплект аппаратуры УКАВ-2 входит набор станций для контроля параметров режима работы вентиляторной установки, вывода показаний на вторичные приборы и подачи сигналов о выходе параметров в опасную зону. *Аппаратура позволяет контролировать:*

Ф ход разгона вентилятора до нужных параметров;

Ф положение лопаток НА и СА вентиляторов всех типов. Положение лопаток контролируется конечными выключателями;

Ф главные параметры режима вентилятора – давление и производительность. Режим работы вентилятора контролируется дифманометрами ДМИ с датчиками, в которых перепады давления преобразовываются в электросигналы, передаваемые на вторичные показывающие приборы. Вторичные приборы с самопишущими устройствами устанавливаются в машинном зале на панели шкафов КИП. При дистанционном управлении дополнительные вторичные приборы устанавливаются в зале диспетчерского управления шахты;

Ф температуру подшипников ротора вентилятора. В теле обойм подшипников устанавливаются датчики, вторичные приборы устанавливаются на панели шкафов КИП;

Ф температуру обмоток статора и ротора двигателя, температуру его металлических частей. Контроль осуществляется с помощью термометров сопротивления, встроенных в двигатель, вторичные приборы устанавливаются на панели шкафа КИП;

Ф температуру подшипников двигателя. Контроль логотрическими сигнализирующими термометрами ТСМ-100;

Ф потока и давления масла в системе маслосмазки. Реле потока и контактные манометры встроены в систему смазки;

Ф состояние тормозной системы ротора вентилятора. Контролируется конечными выключателями;

Ф полная остановка вращения ротора вентилятора. Контроль осуществляется магнитоиндуктивным датчиком ДМ-1;

Ф положение ляд и дверей подводящей и реверсивной систем каналов. Контролируется магнитными выключателями.

Комплексы УКАВ-2 работают в вентиляторных установках с одним или двумя вентиляторами любого типа, укомплектованными асинхронными или синхронными приводами высоко или низкого напряжения.

В вентиляторных установках применяют и другие комплексы автоматизации и управления: комплекс УКАВ-М22 поставляется с вентилятором ВЦ-25М; комплекс УКАВ-М – с вентиляторами ВОД-18 и ВОД-21М.

Вентиляторная установка с вентилятором ВЦД-47А "Север" поставляется с комплексом станций аппаратуры управления, автоматизации и контроля Московского опытного завода ВНИИ электрического привода. Комплекс выполнен в виде компактных шкафов в варианте двухстороннего обслуживания. Аппаратура комплекса обеспечивает все функции управления и контроля, имеющиеся в комплексе УКАВ-2.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите составляющие части главной вентиляторной установки шахты.
2. Какие типы ГВУ приняты для работы в шахтных сетях? По каким признакам они подразделяются?
3. Какие мероприятия в ГВУ обеспечивают нормальную ее работу в условиях пониженных температур?
4. Перечислите вспомогательные устройства ГВУ, сформулируйте их назначение.
5. Как комплектуется система аппаратуры управления, контроля и автоматизации шахтных ГВУ?
6. Какие функции выполняет эта аппаратура?

Библиографический список

1. Вентиляторы главного и местного проветривания. Отраслевой каталог. – М.: ЦНИИИ и ТЭИ, 1985. – 62 с.
2. Временное руководство по проектированию проветривания угольных шахт восточных бассейнов страны. – Кемерово: ВостНИИ, 1969. – 412 с.
3. *Иванов О.П., Мамченко В.О.* Аэродинамика и вентиляторы: Учебник. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд – ние, 1986. – 280 с., ил.
4. *Ивановский И.Г.* Проектирование проветривания шахт и калориферных установок: Учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2000. – 107 с.
5. *Ковалевская В.И., Спивак В.А.* Машинист вентиляторной установки. – М.: Недра, 1979. – 223 с.
6. Оборудование, приборы и аппаратура для проветривания угольных и сланцевых шахт, контроля рудничной атмосферы и газовой защиты. Каталог. – М.: ЦНИЭИУголь, 1978. – 134 с.
7. *Пигида Г.Л.* Анализ совместной работы шахтных вентиляторов. – М.: Недра, 1976. – 200 с.
8. Рудничная вентиляция: Справочник / Н.Ф. Трощенко, А.Э. Петросян, М.А. Фролов и др.; Под ред. К.З. Ушакова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 440 с.
9. *Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И.* Аэрология горных предприятий: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 421 с.
10. *Чабан П.Д.* Вентиляторы для рудников и шахт Северо-Востока СССР. – Магадан: Кн. изд-во, 1970. – 80 с.
11. Шахтные вентиляторные установки: Справочник / Г.А. Бабак, К.П. Бочаров, А.Т. Волохов и др. – М.: Недра, 1982.
12. *Ушаков К.З.* Вентиляция подземных выработок при их сооружении. – М.: МГИ, 1967. – 156 с.

Приложение I

Аэродинамические характеристики
осевых, центробежных главных вентиляторов
и вентиляторов местного проветривания

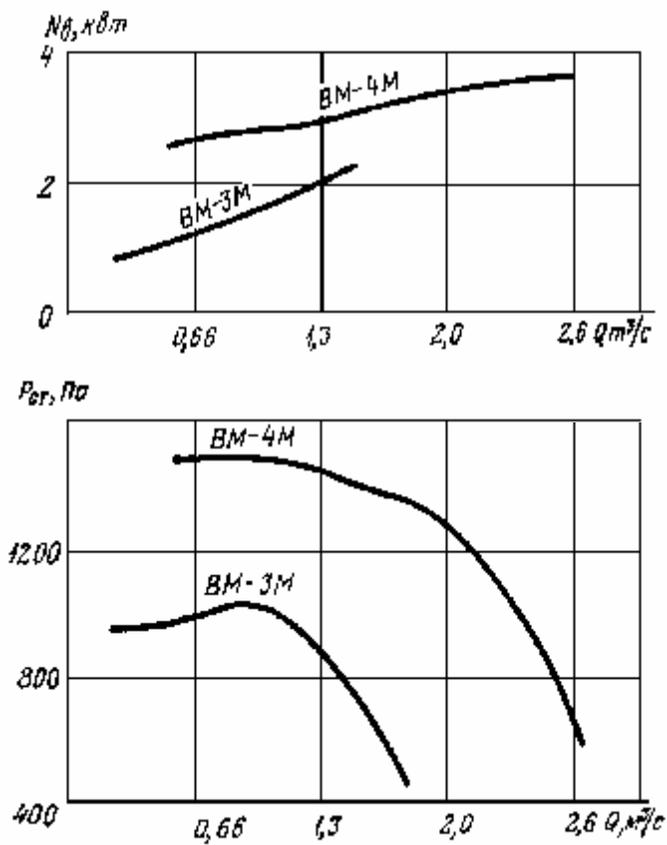


Рис. 1. 1. Аэродинамические характеристики вентиляторов BM-3M и BM-4M

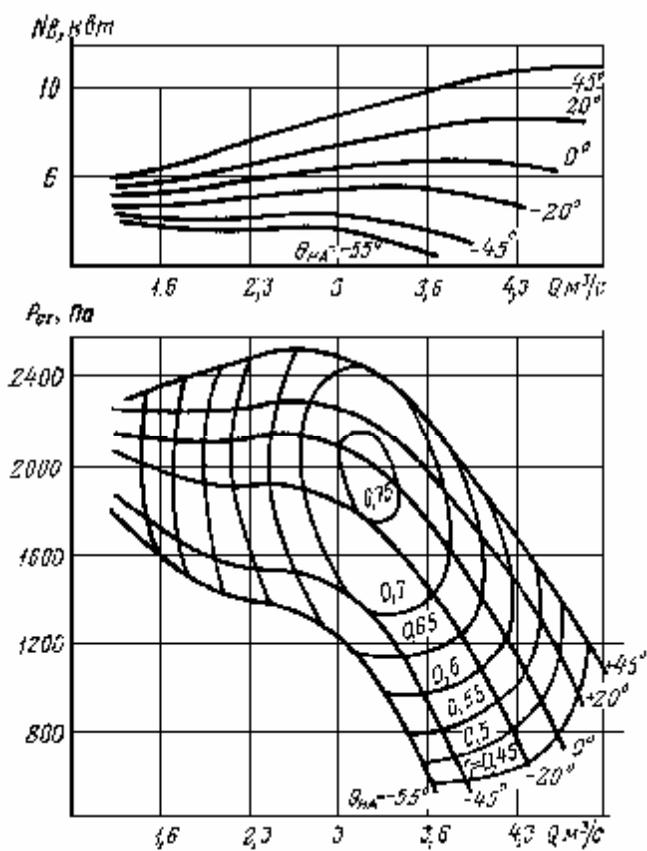


Рис. 1. 2. Аэродинамические характеристики вентилятора ВМ-5М

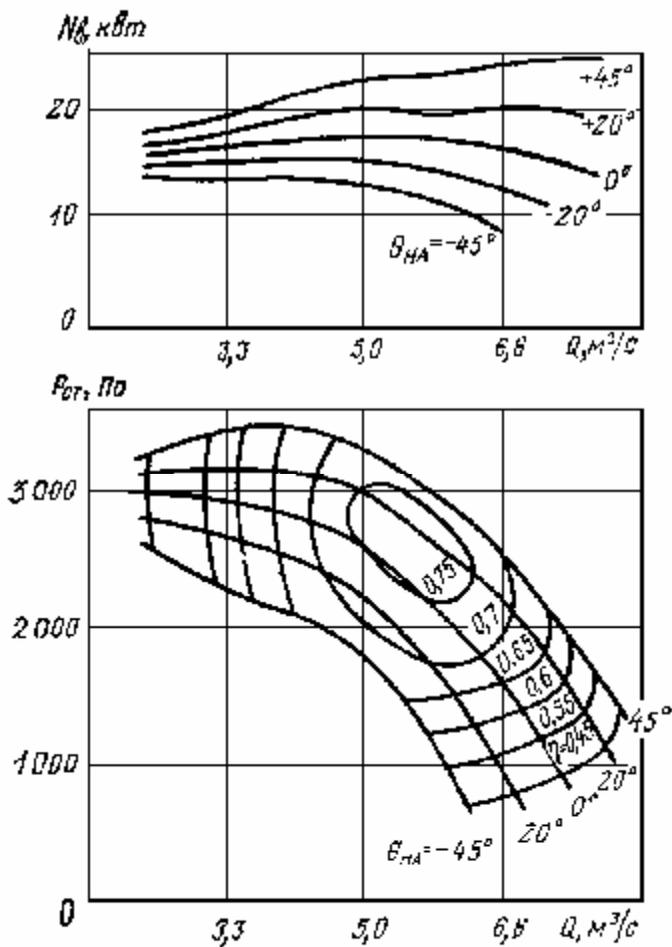


Рис. 1.3. Аэродинамические характеристики вентилятора ВМ-6М

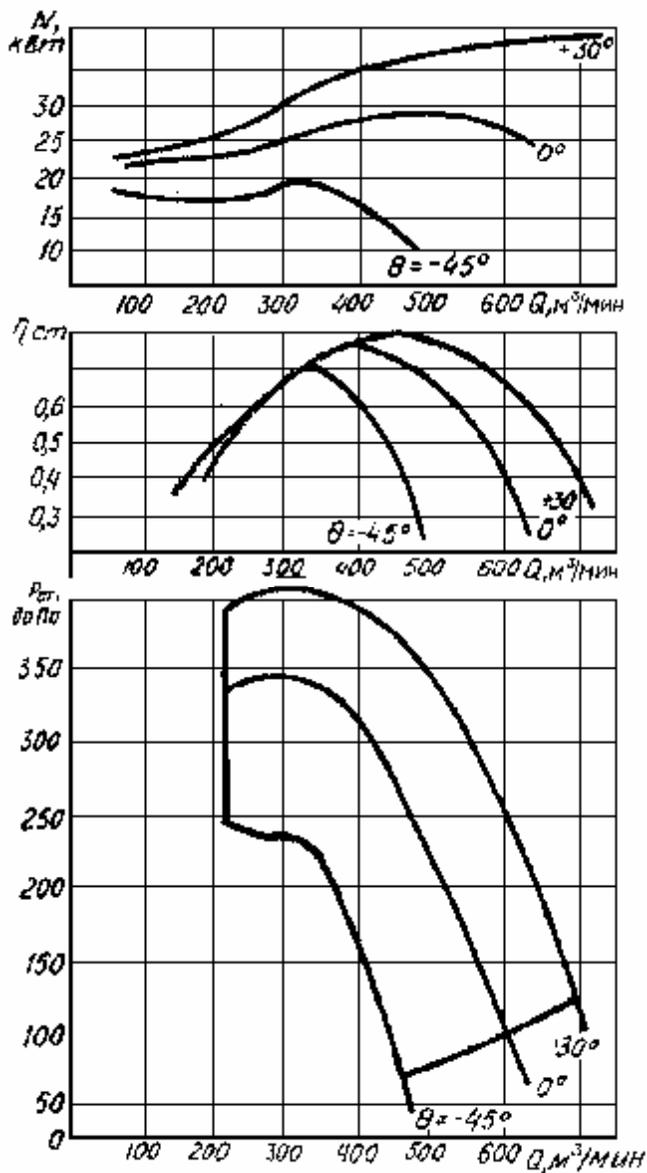


Рис. I. 4. Аэродинамические характеристики вентилятора ВМ-8М

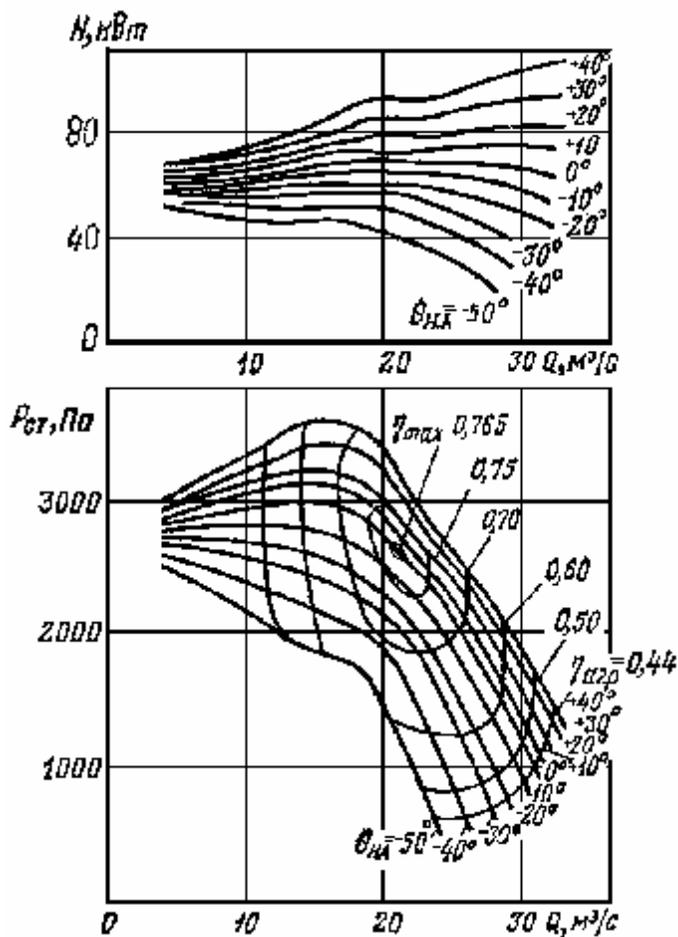


Рис. 1. 5. Аэродинамические характеристики вентилятора ВМ-12М

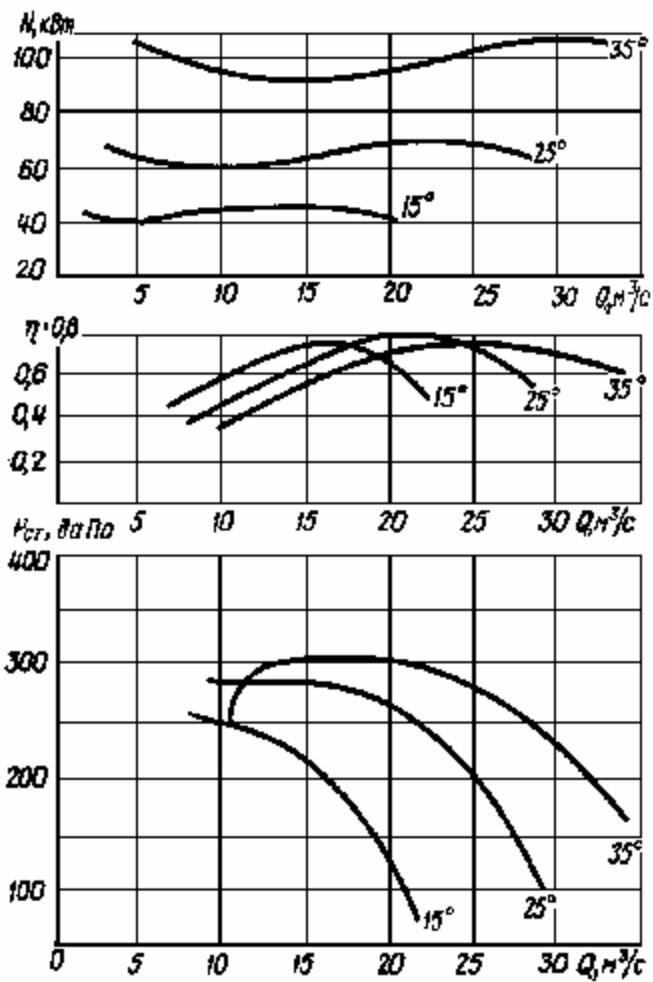


Рис. I. 6. Аэродинамические характеристики вентилятора ВМ-12А

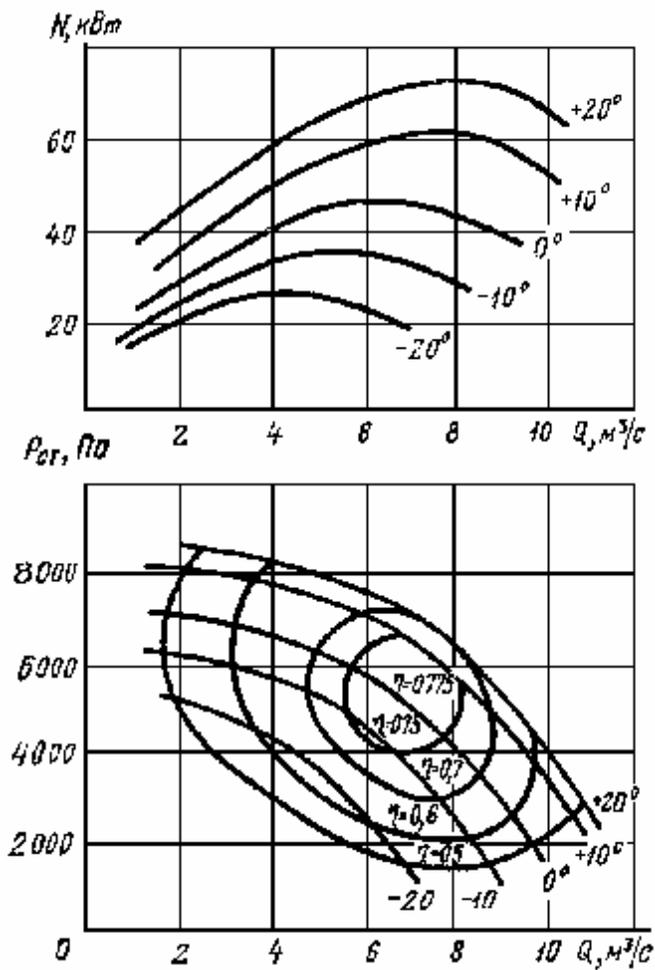


Рис. 1.7. Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦ-7

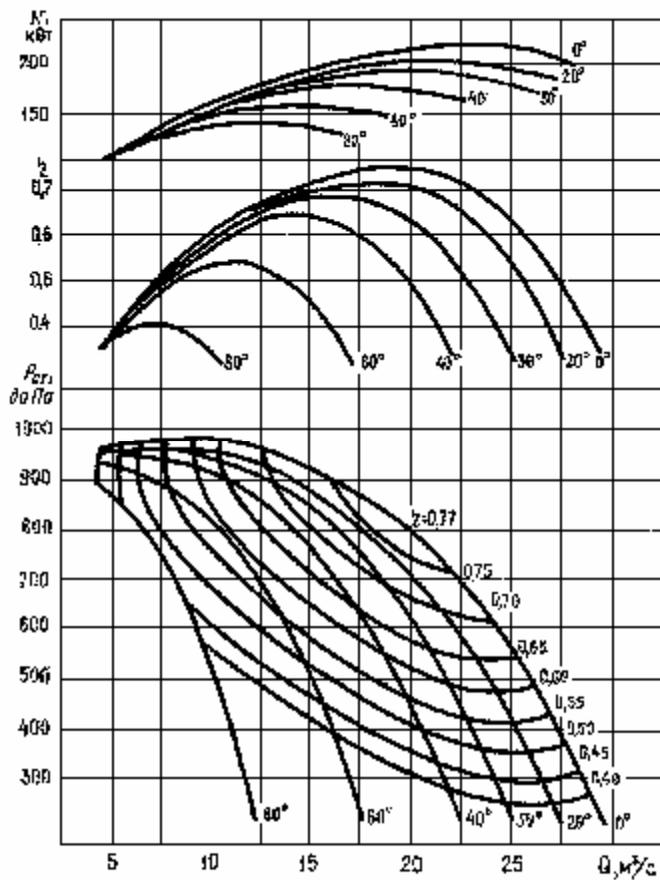


Рис. 1.8. Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦ-9

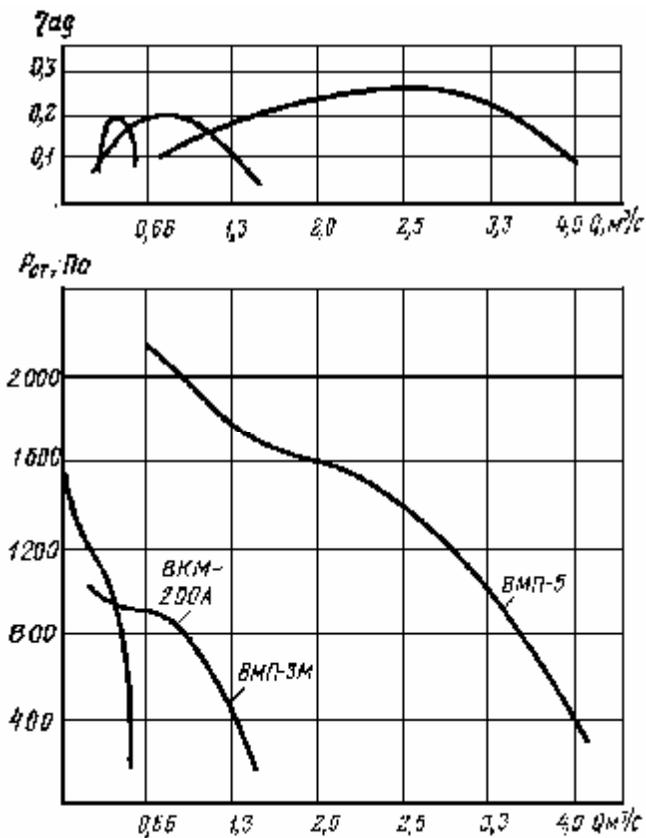


Рис. 1. 9. Аэродинамические характеристики вентиляторов ВКМ-200А, ВМП-3М и ВМП-5

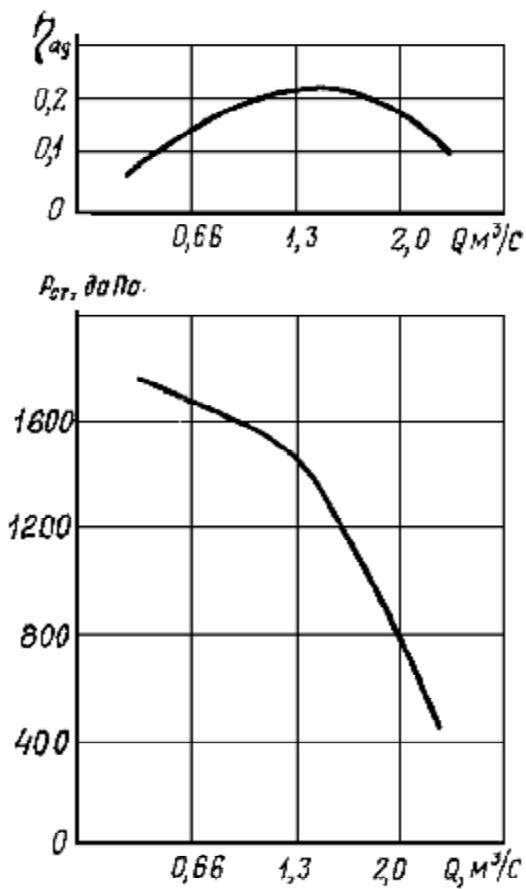


Рис. I. 10. Аэродинамические характеристики вентилятора ВМП-4

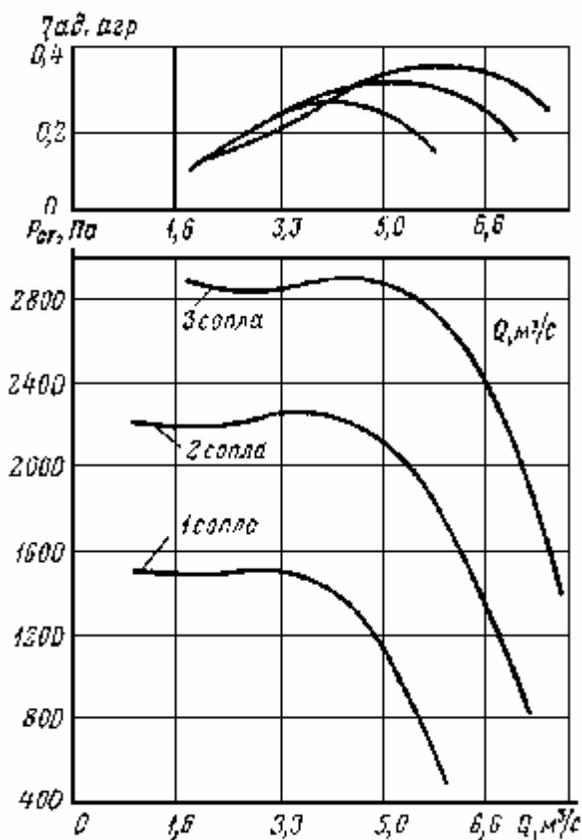


Рис. 1. 11. Аэродинамические характеристики вентилятора ВМП-6

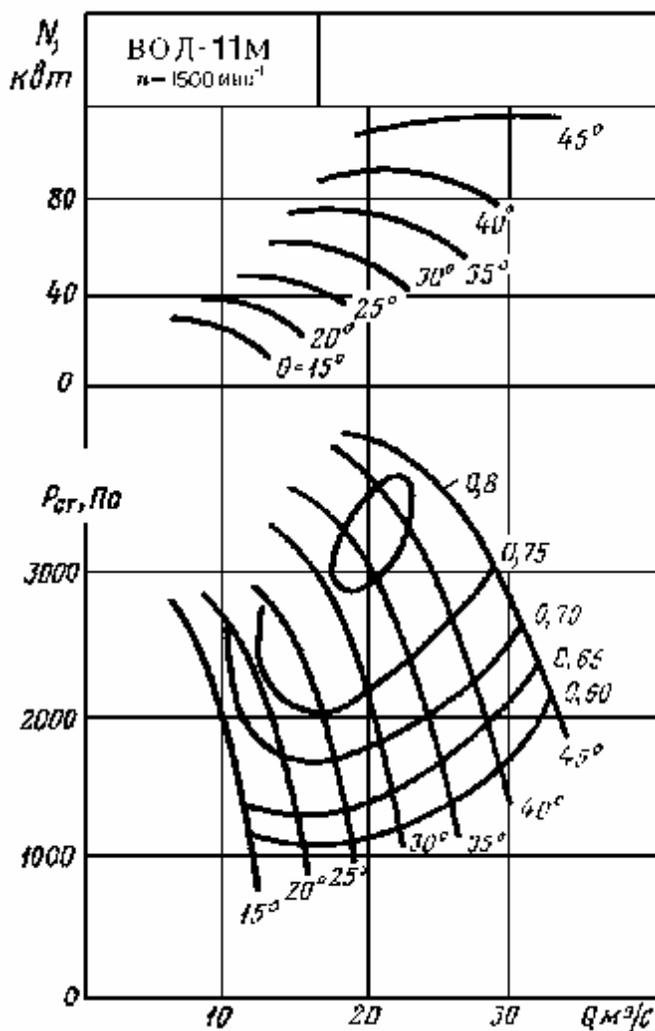


Рис. I. 12. Аэродинамические характеристики вентилятора ВВД-11М

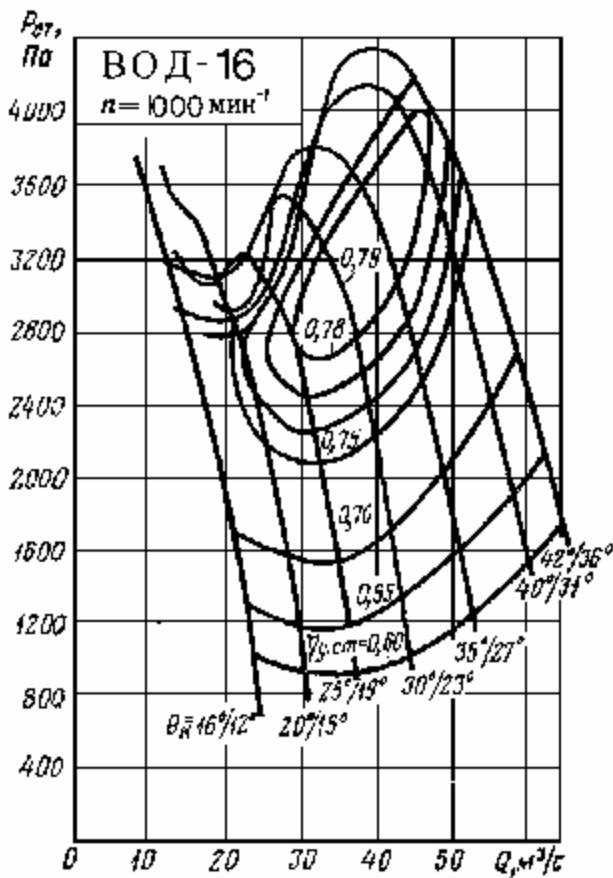


Рис. 1.13. Аэродинамические характеристики вентилятора ВВД-16

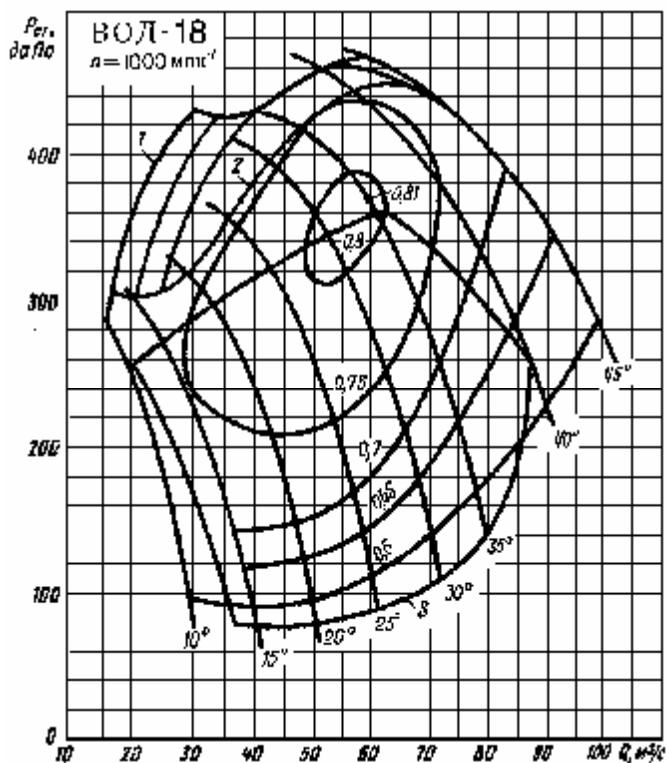


Рис. I. 14. Аэродинамические характеристики вентилятора ВД-18

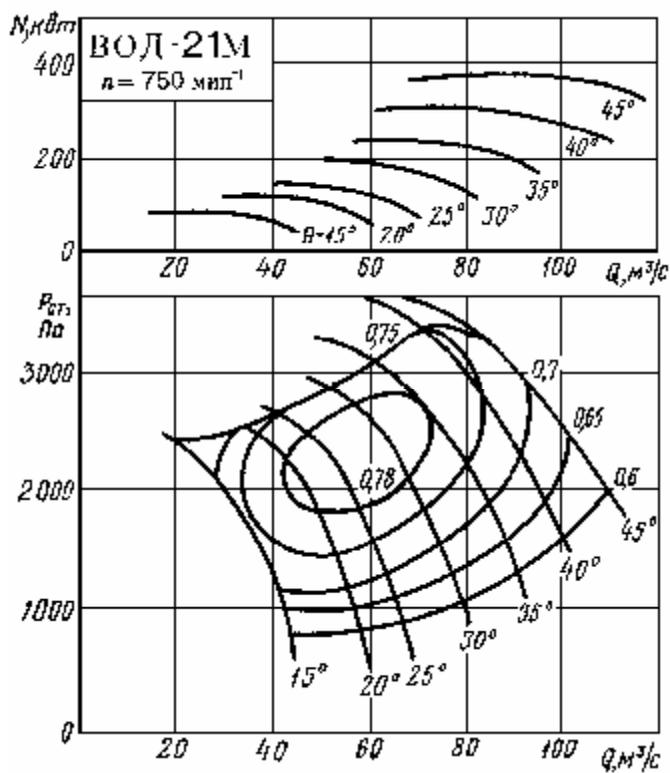


Рис. 1. 15. Аэродинамические характеристики вентилятора ВВД-21М

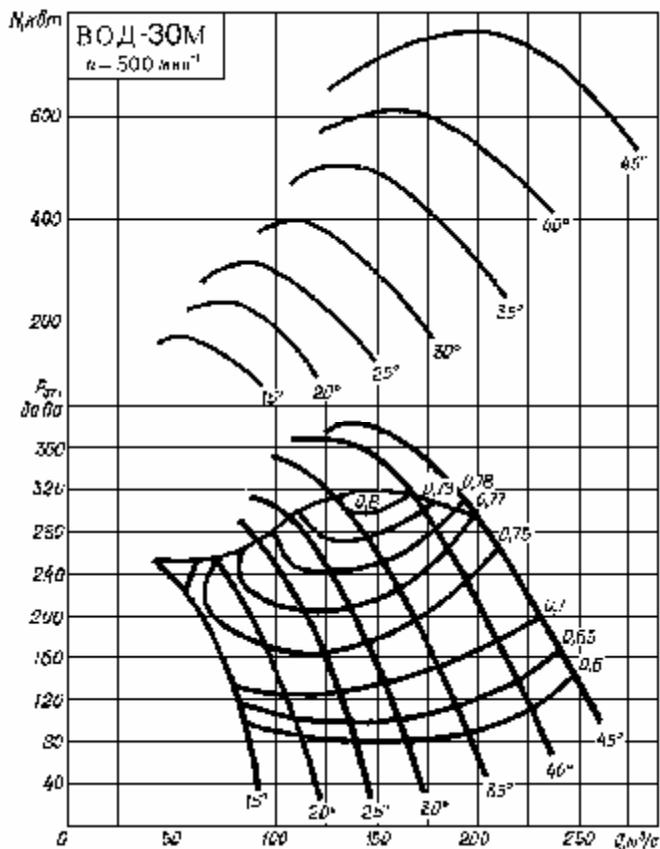


Рис. I. 16. Аэродинамические характеристики вентилятора ВВД-30М

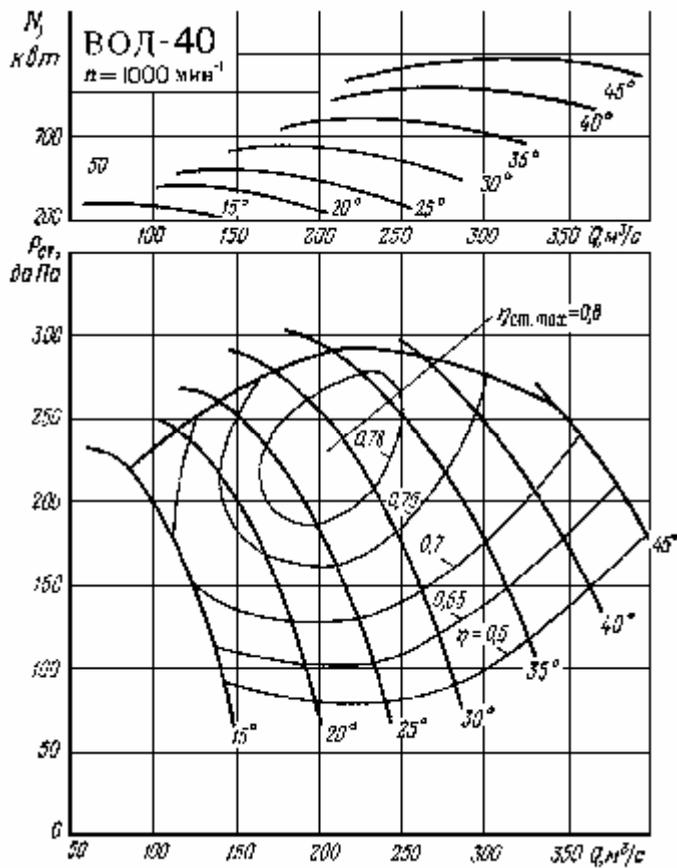


Рис. 1. 17. Аэродинамические характеристики вентилятора ВВД-40

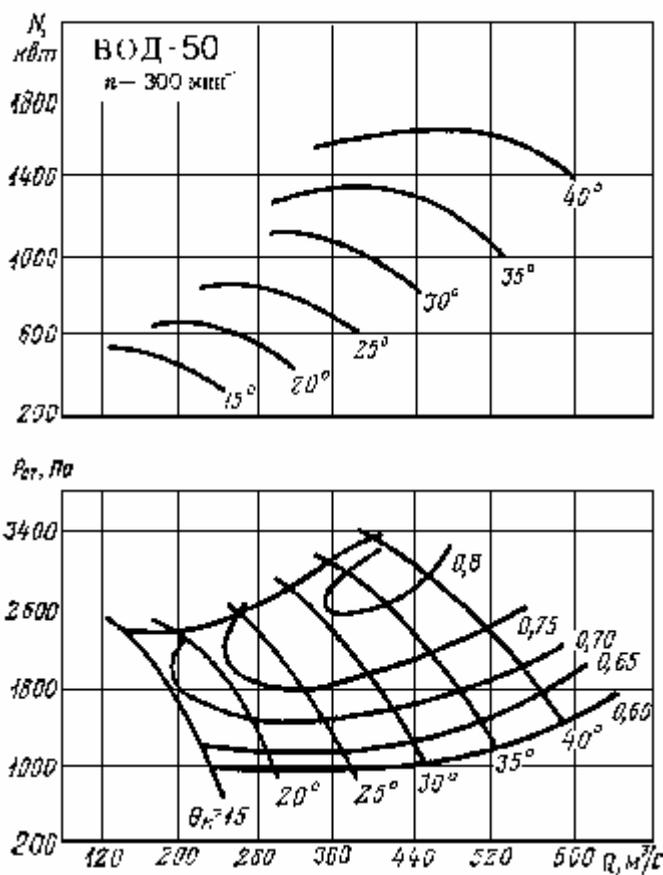


Рис. I. 18. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОД-50

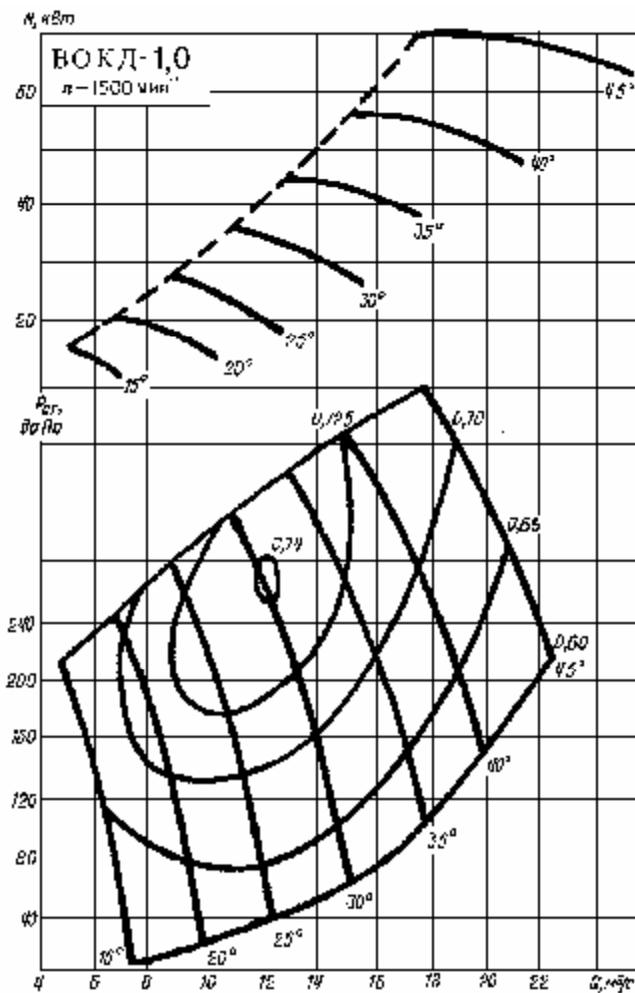


Рис. 1. 19. Аэродинамические характеристики вентилятора
ВОКД-1,0

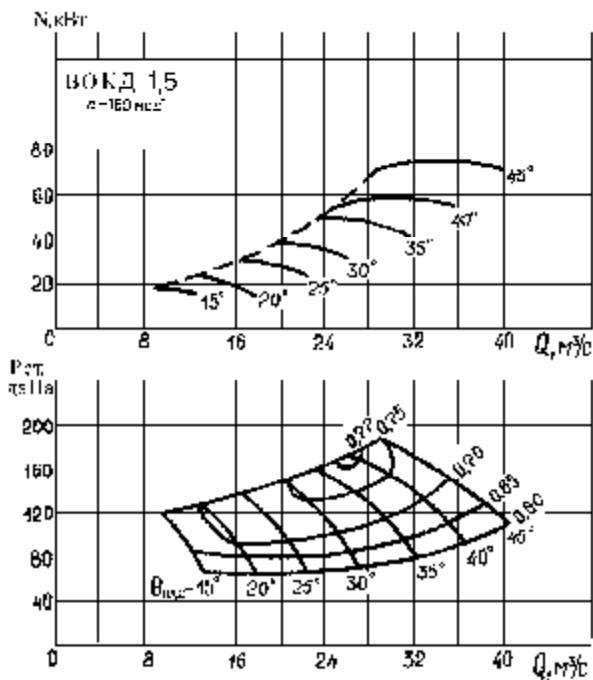


Рис. I. 20. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОКД-1,5

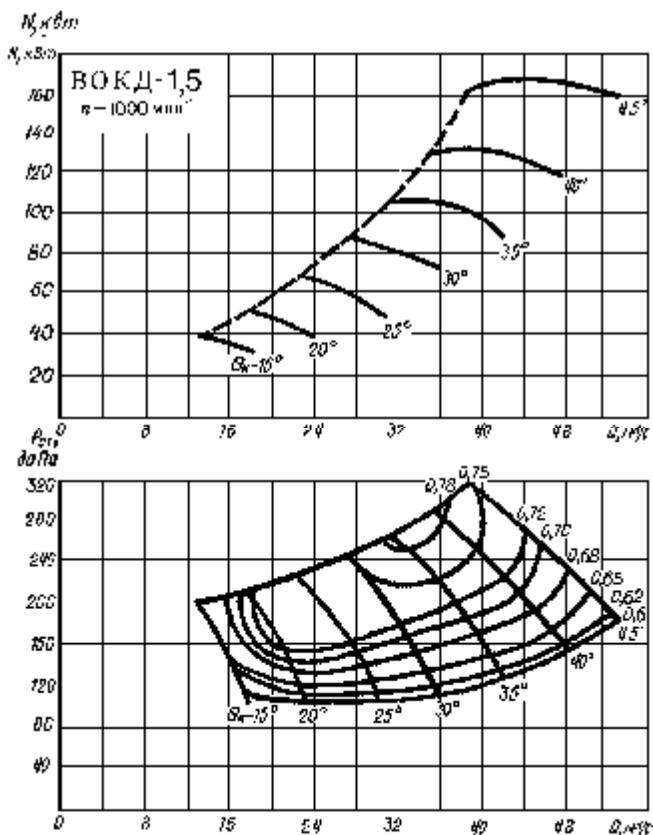


Рис. 1.21. Аэродинамические характеристики вентилятора
 ВОКД-1,5

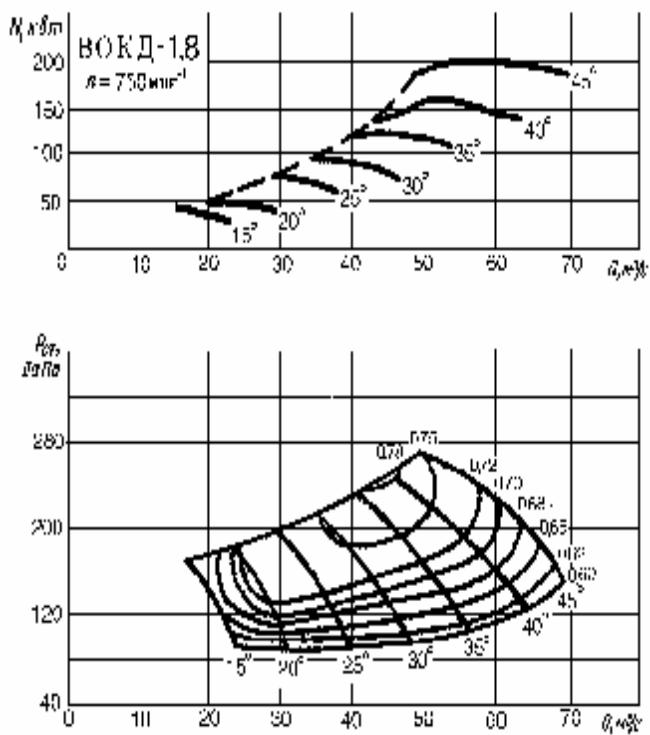


Рис. I. 22. Аэродинамические характеристики вентилятора ВСКД-1,8

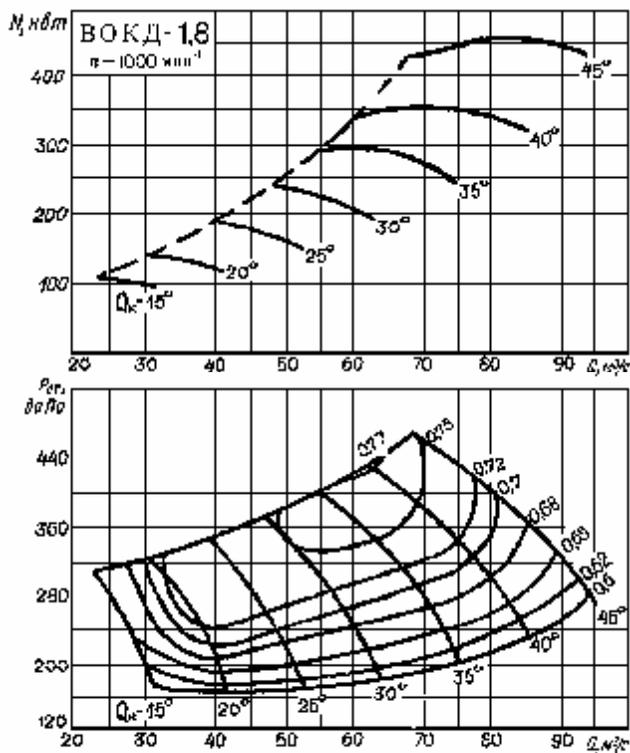


Рис. 1. 23. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОКД-1,8

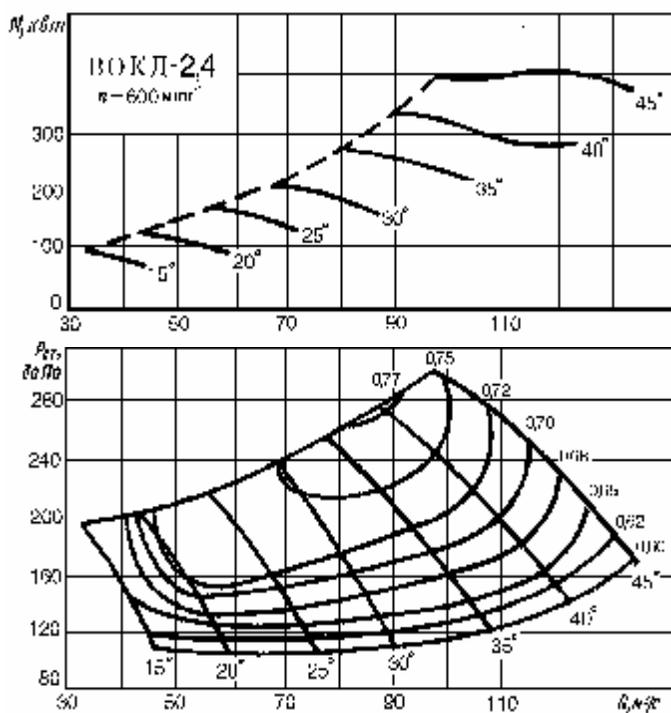


Рис. I. 24. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОСКД-2,4

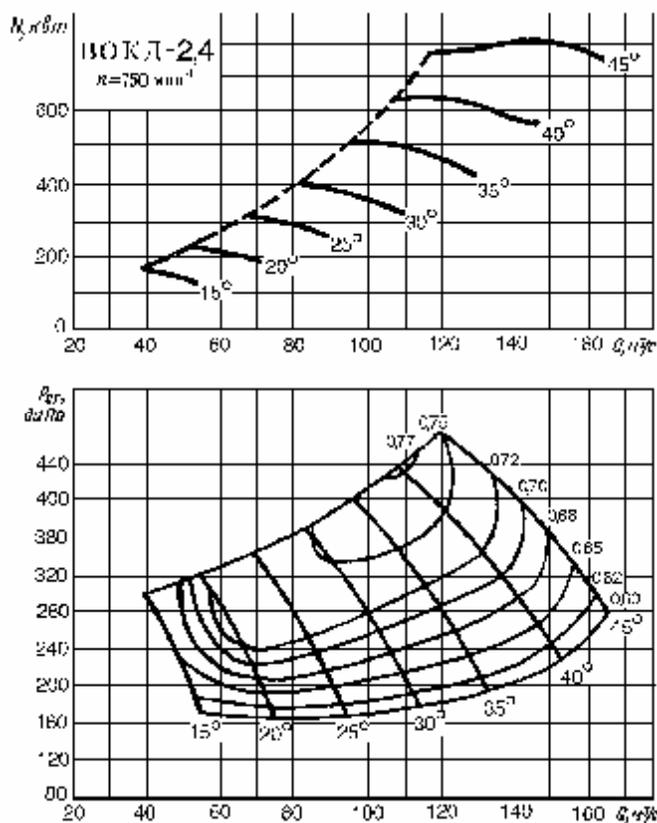


Рис. 1. 25. Аэродинамические характеристики вентилятора
ВОКД-2,4

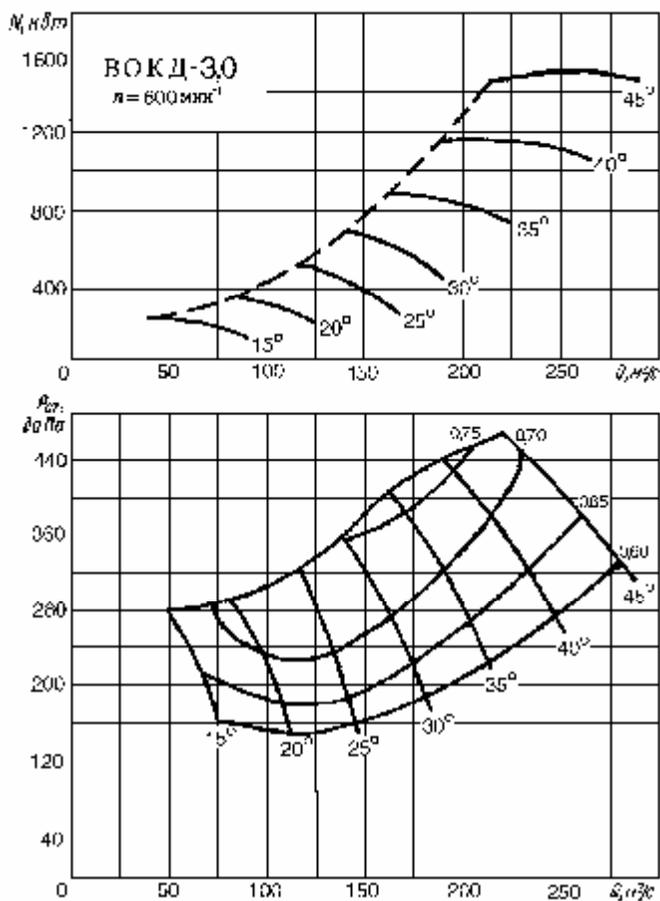


Рис. I. 26. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОКД-3,0

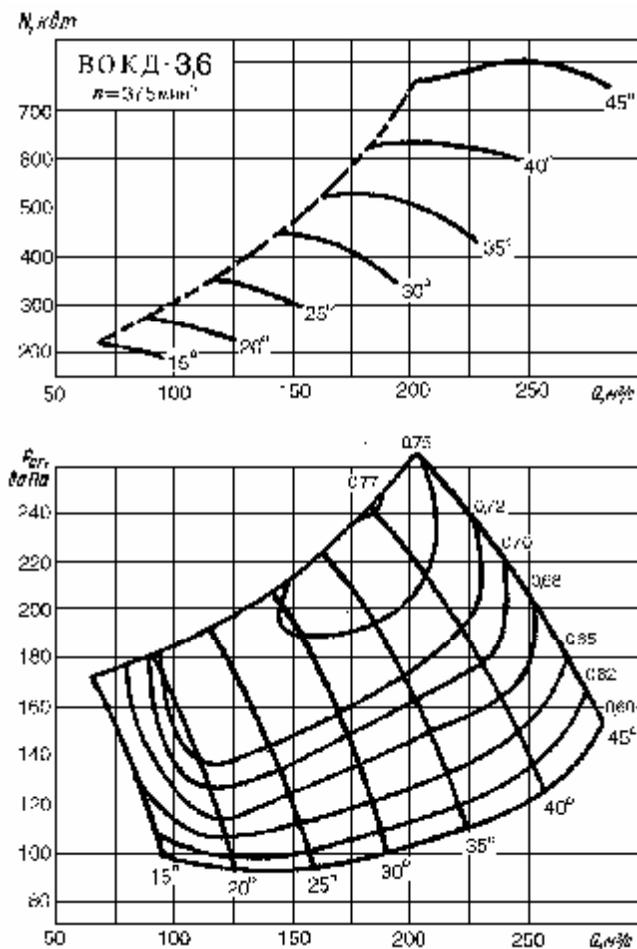


Рис. 1. 27. Аэродинамические характеристики вентилятора
ВОКД-3,6

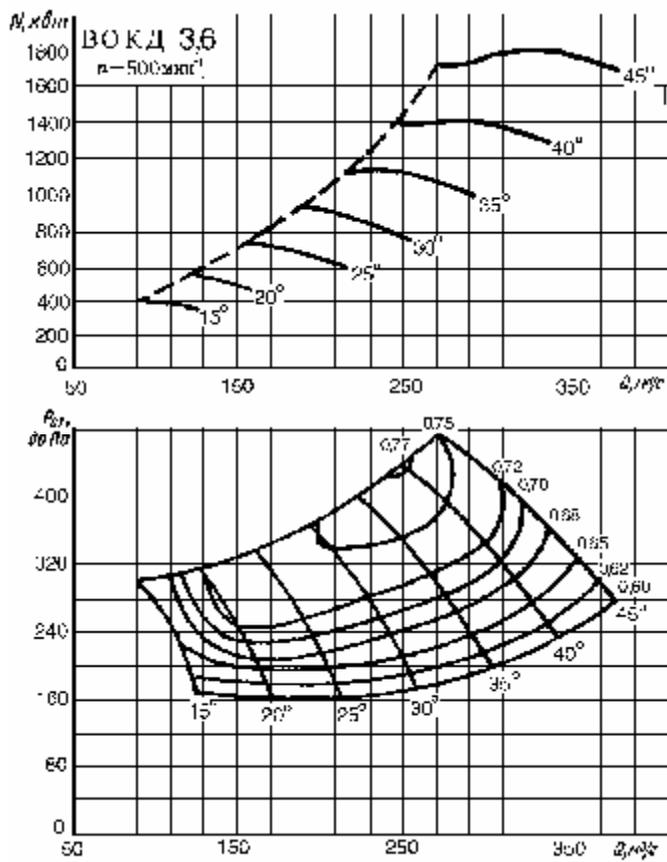


Рис. I. 28. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОКД-3,6

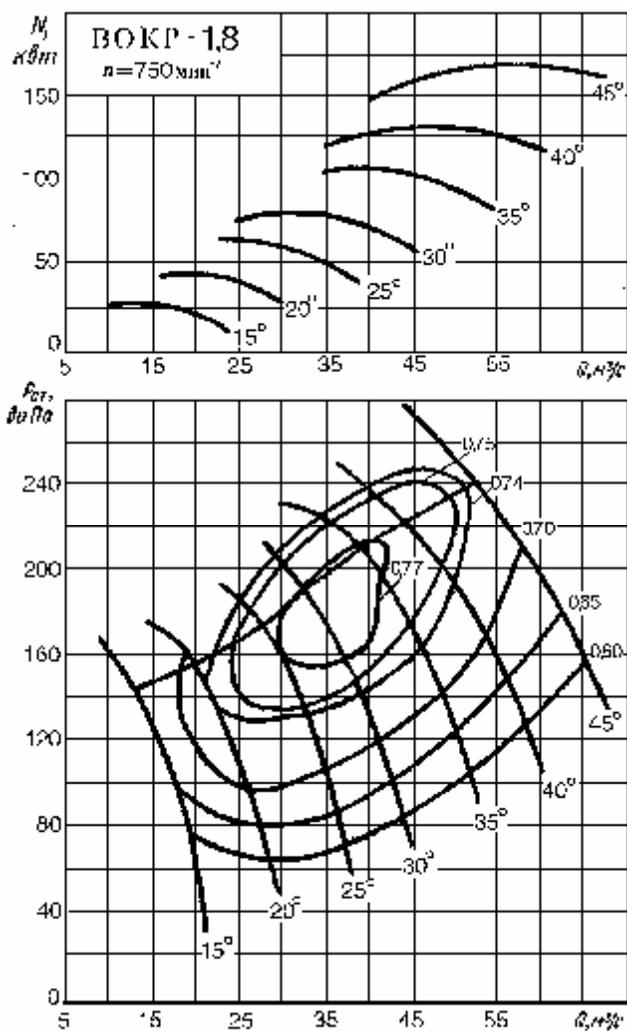


Рис. 1. 29. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОР-1,8

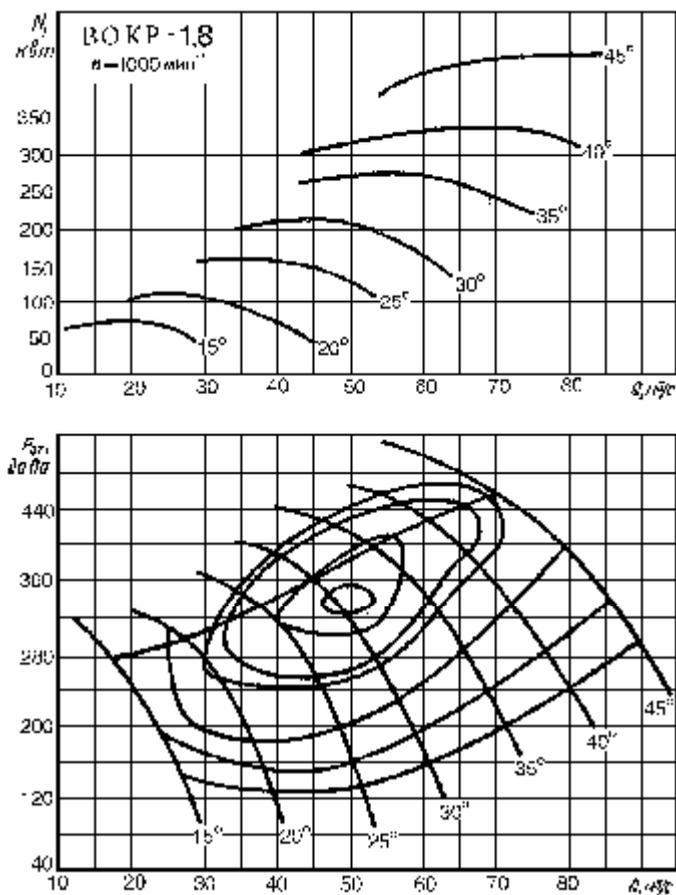


Рис. I. 30. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОРР-18

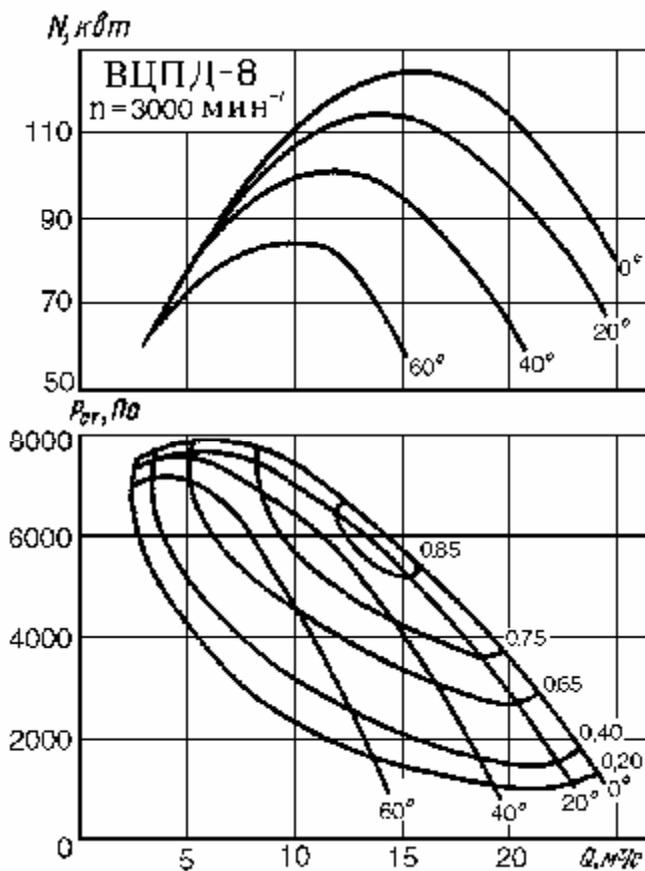


Рис. 1.31. Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦПД-8

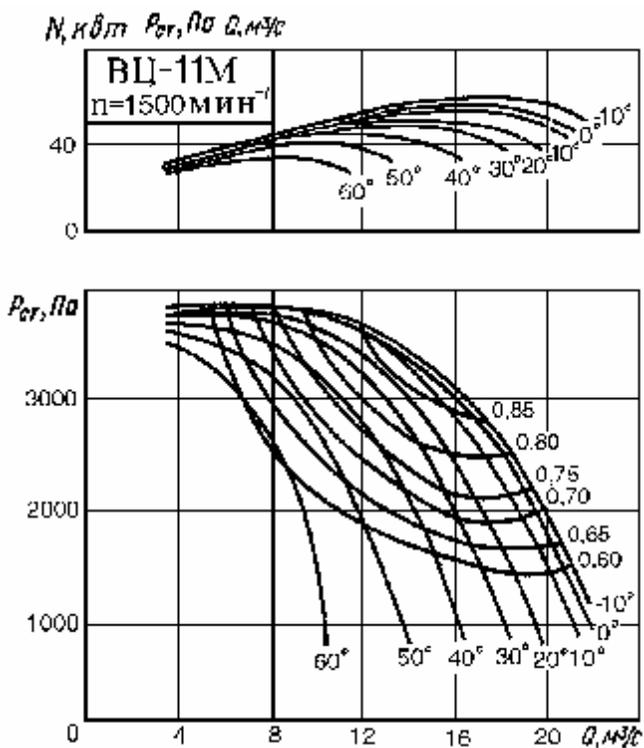


Рис. I.32 . Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦ-11М

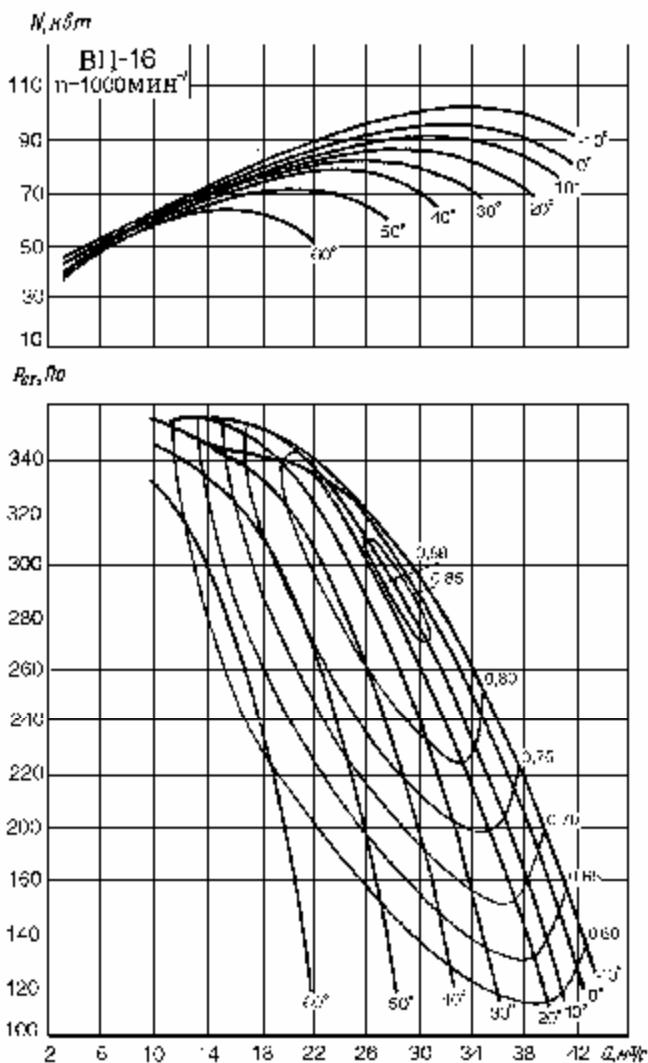


Рис. 1.33. Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦ-16

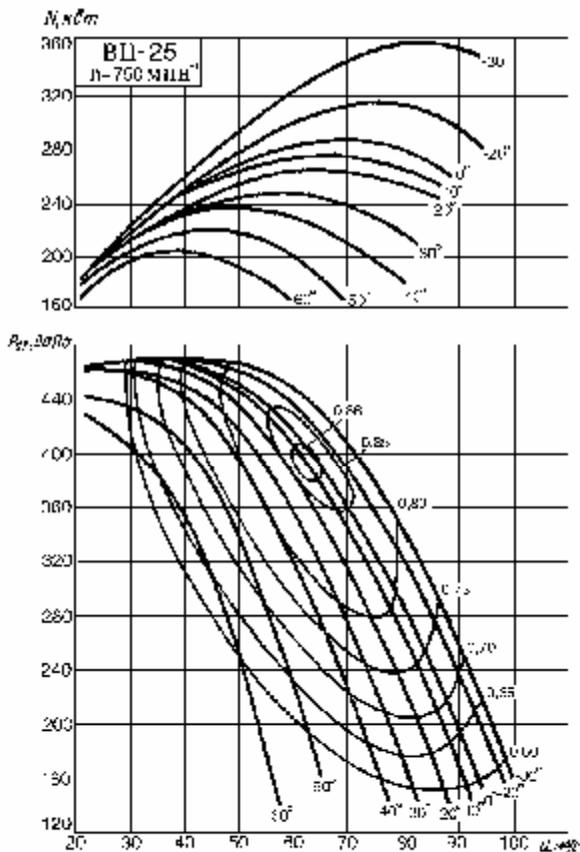


Рис. I.34 . Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦ-25

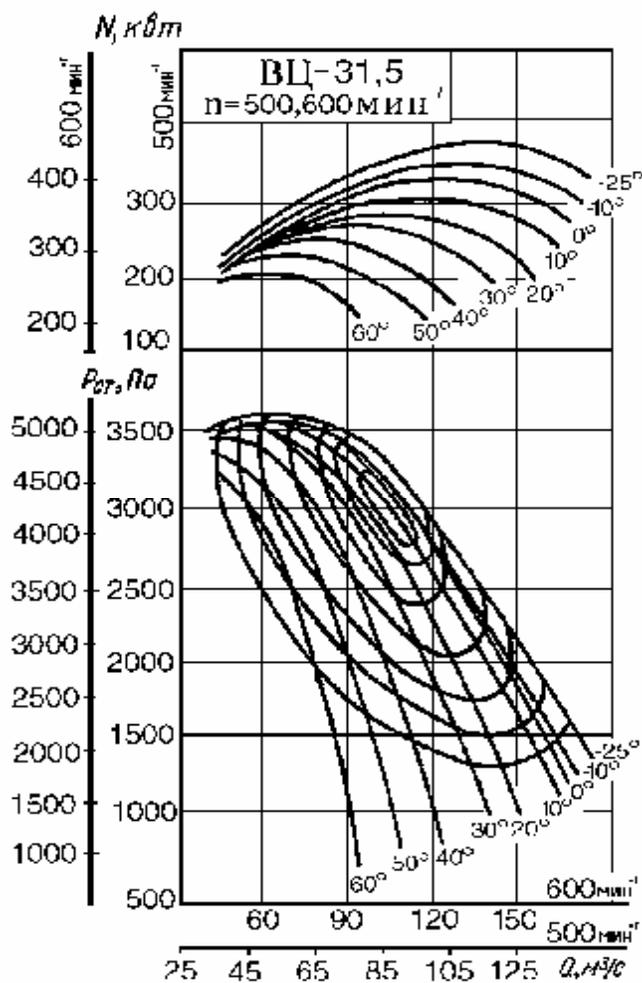


Рис. 1.35. Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦ-31,5

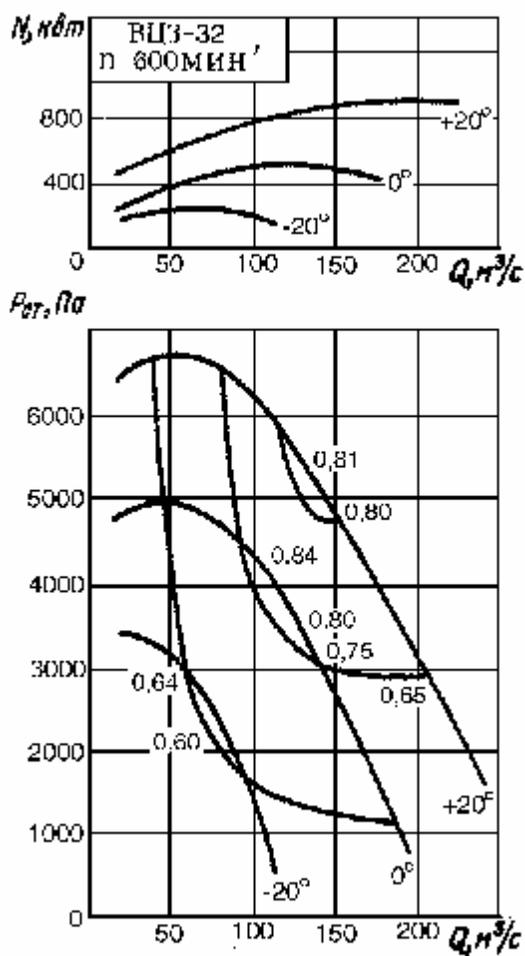


Рис. I.36. Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦЗ-32

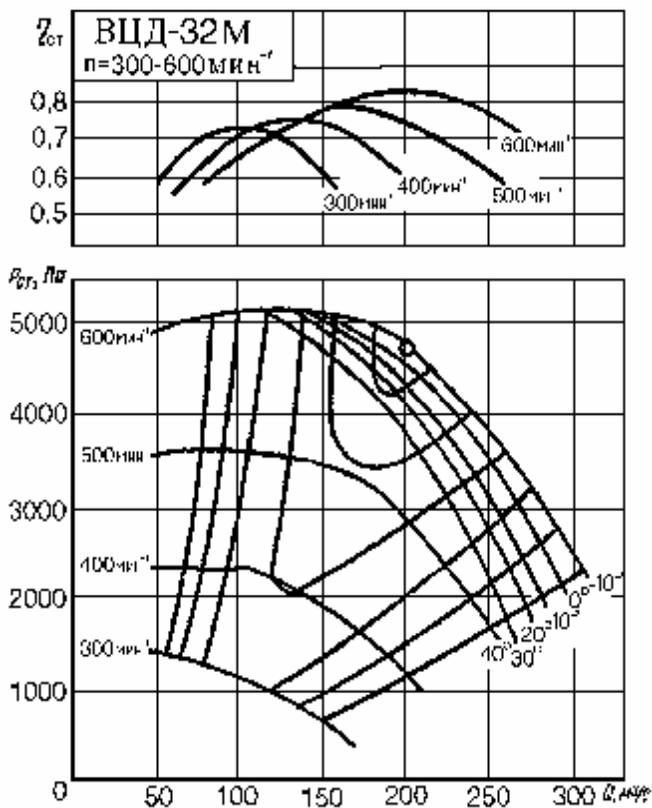


Рис. 1.37. Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦД-32М

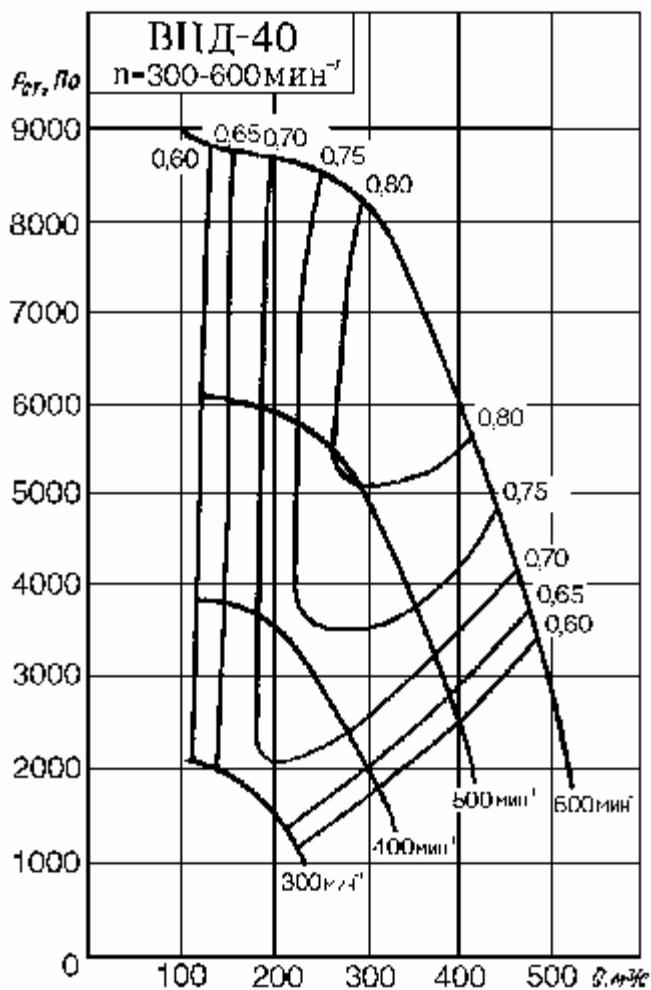


Рис. I.38. Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦД-40

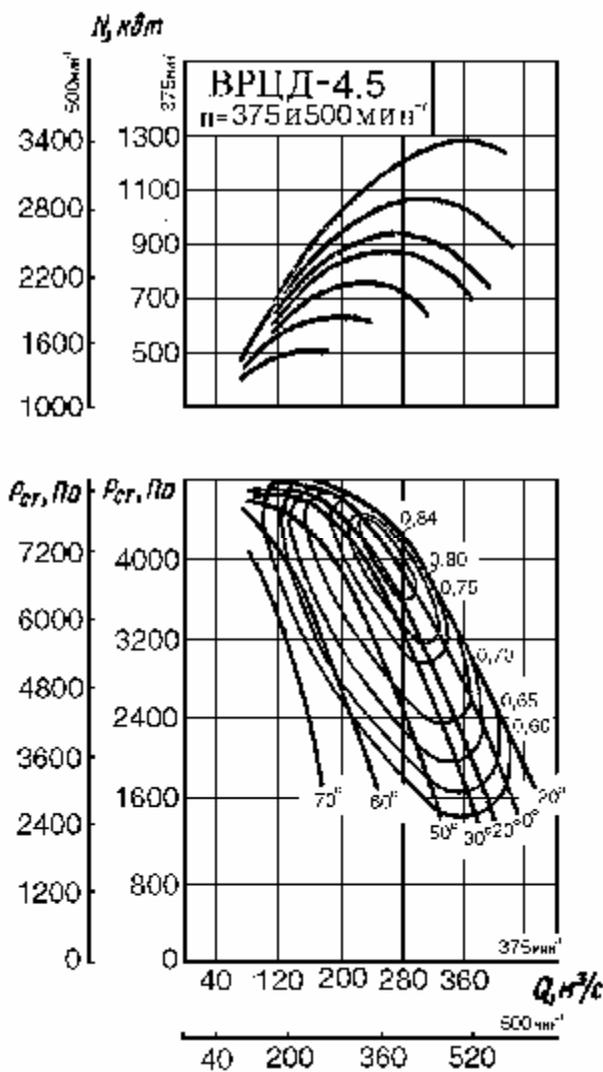


Рис. 1.39. Аэродинамические характеристики вентилятора ВРЦД-4,5

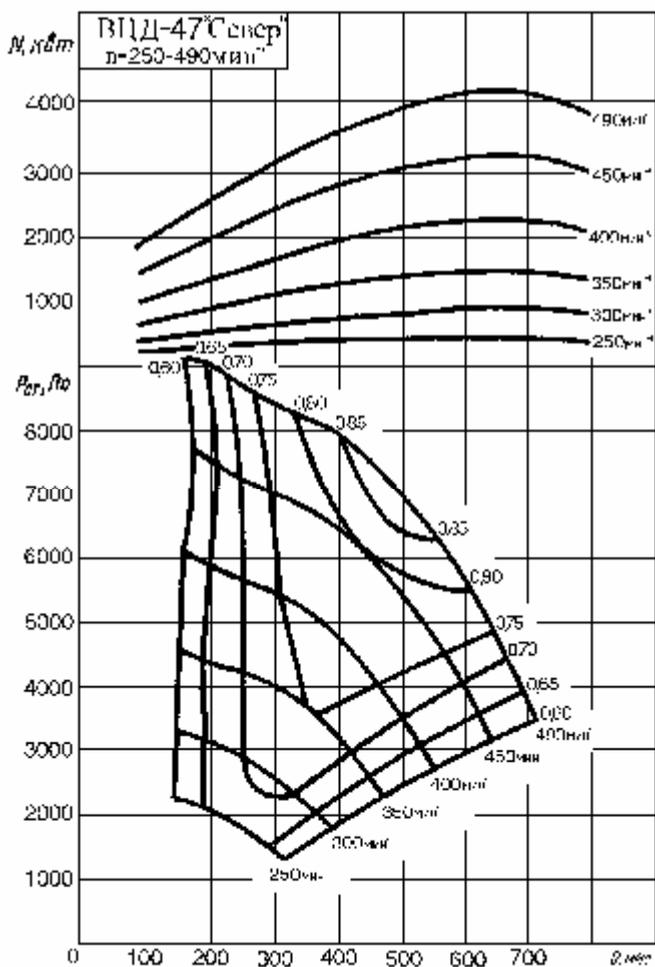


Рис. I.40. Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦД-47 "Север"

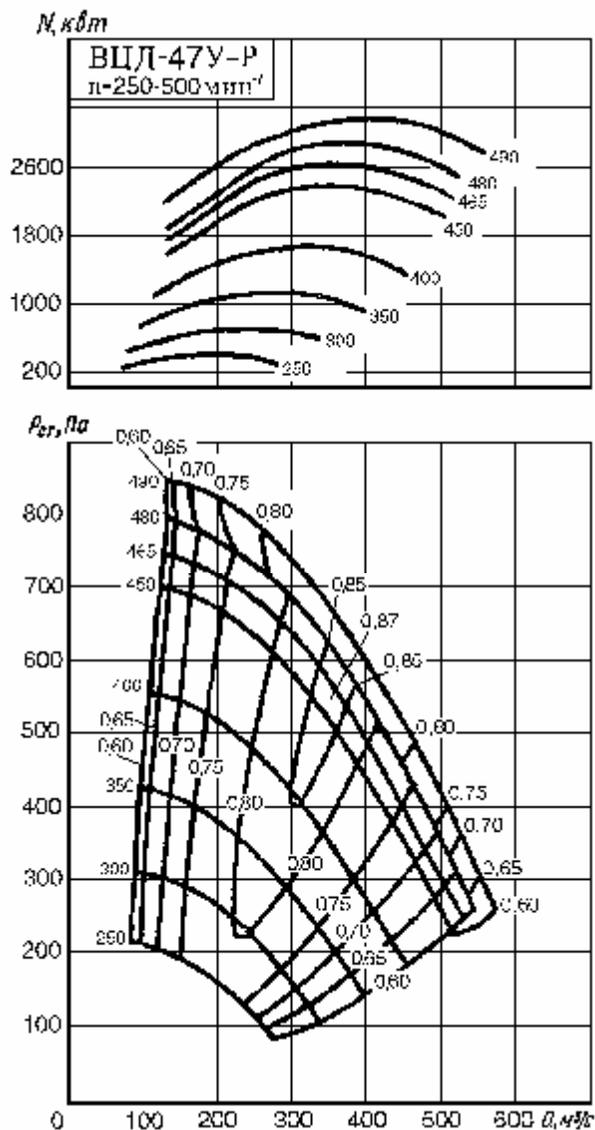


Рис. 1.41. Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦД-47У-Р

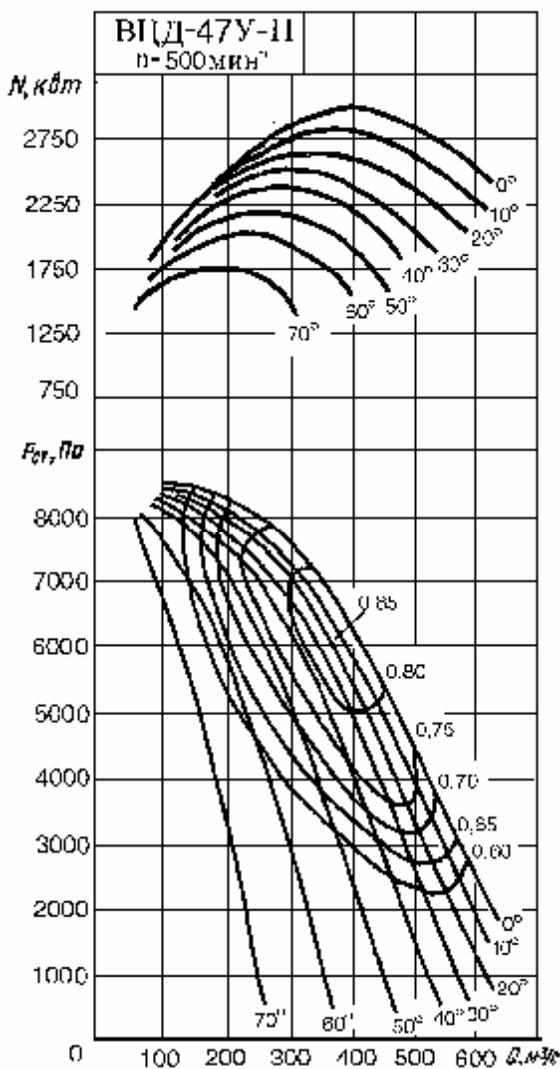


Рис. I.42. Аэродинамические характеристики вентилятора ВЦД-47У-Н

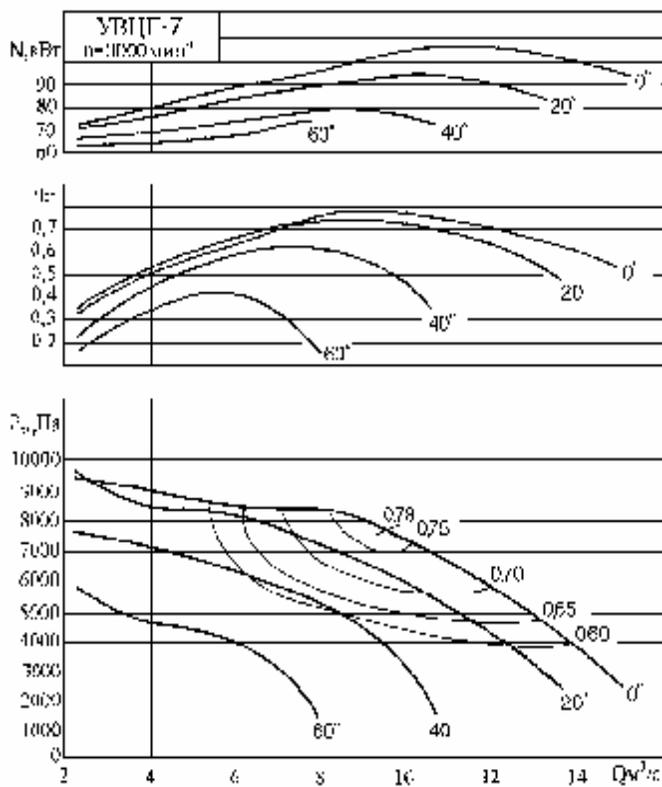


Рис. 1.43. Аэродинамические характеристики вентилятора УВЦГ-7

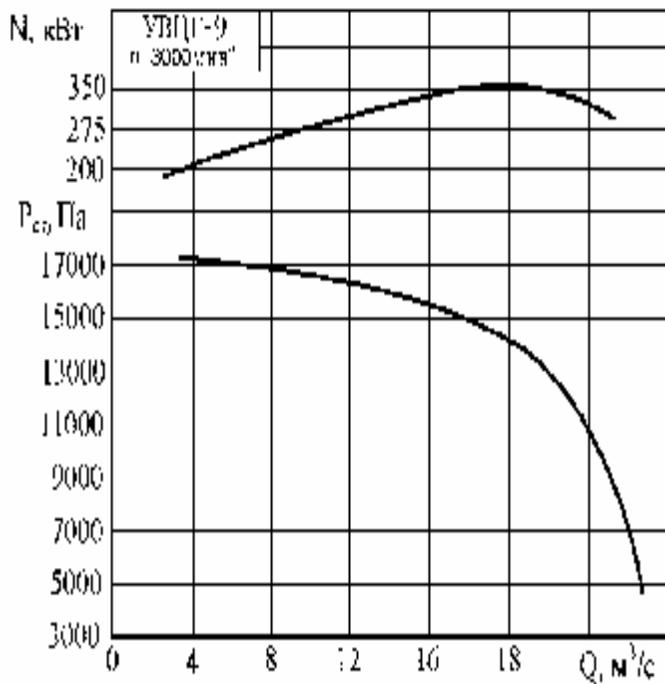


Рис. 1.44. Аэродинамические характеристики вентилятора УВЦГ-9

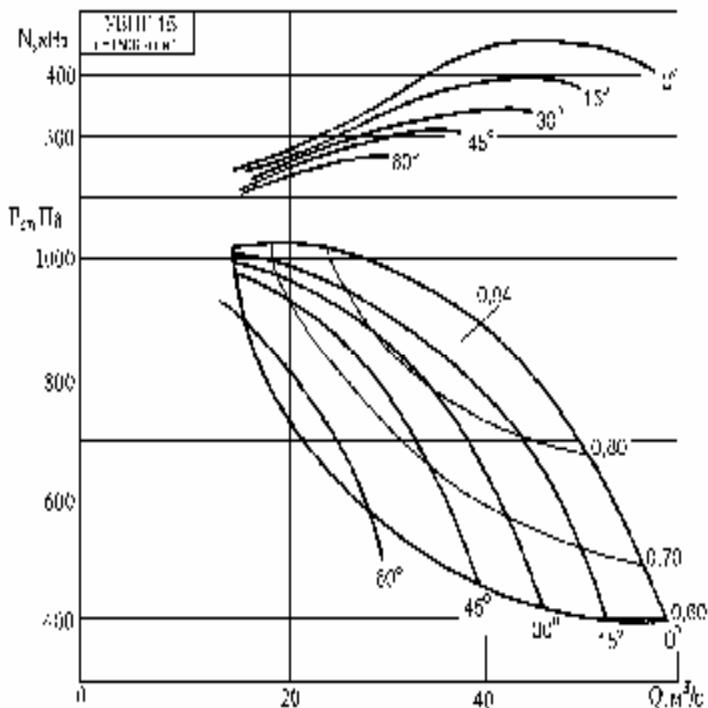


Рис. 1.45. Аэродинамические характеристики вентилятора УВЦГ-15

Приложение II

Технические характеристики осевых, центробежных главных вентиляторов и вентиляторов местного проветривания

Таблица П.1

Техническая характеристика вентиляторов местного проветривания

Параметры	Вентиляторы						
	ВМ-3М	ВМ-4М	ВМ-5М	ВМ-6М	ВМ-8М	ВМ-12М	ВМ-12А
Диаметр рабочего колеса, мм	300	400	500	600	800	1200	1200
Производительность, м ³ /мин	42 - 100	50 - 155	100 - 280	140 - 480	240 - 780	600 - 1900	600 - 1900
Статическое давление, даПа	100 - 40	145 - 70	240 - 60	340 - 75	420 - 80	380 - 80	300 - 80
Скорость вращения, мин ⁻¹	3000	3000	3000	3000	3000	1500	1500
Статический КПД в рабочей зоне	0,70	0,72	0,75	0,76	0,80	0,72	0,72
Способ регулирования	не регул.ир.	не регул.ир.	НА	НА	НА	НА	3 сменных венца
Давление сжатого воздуха, МПа	–	–	–	–	–	–	–
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	–	–	–	–	–	–	–
Мощность двигателя, кВт	2,2	4,0	5,0 - 13,0	10,0 - 24,0	52,0	110,0	110,0
Напряжение питания, В	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380
Масса, кг	80,0	140,0	250,0	350,0	750,0	2300,0	2200,0

Окончание табл. 11.1

Параметры	Вентиляторы						
	ВКМ-200М	ВМП-3М	ВМП-4	ВМП-5М	ВМП-6М	ВЦ-7	ВЦ-9
Диаметр рабочего колеса, мм	200	300	400	500	600	750	900
Производительность, м ³ /мин	18-35	25-100	45-160	80-280	120-480	95-650	600-1700
Статическое давление, даПа	110-40	120-40	220-40	200-50	290-60	900-140	950-400
Скорость вращения, мин ⁻¹	6100	4000-4500	4800-5300	3500-3800	3000-3300	3000	3000
Статический КПД в рабочей зоне	0,19	0,24	0,28	0,3	0,35	0,78	0,78
Способ регулирования	не регул.	не регул.	3-х ходов. кран	3-х ходов. кран	3-х ходов. кран	закрылки ОНА	ОНА
Давление сжатого воздуха, МПа	2,0-3,5	3,0-5,0	3,0-5,0	3,0-5,0	3,0-5,0	–	–
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	1,2	3,0	5,0	8,0	19,5	–	–
Мощность двигателя, кВт	–	–	4,2	5,4	7,5	75,0	90,0
Напряжение питания, В	–	–	–	–	–	380/660	380/660
Масса, кг	10,0	70,0	50,0	180,0	270	1400,0	3600,0

Таблица 2

Техническая характеристика осевых вентиляторов

Параметры	Вентиляторы						
	ВОКД-1,0	ВОКД-1,5	ВОКД-1,8	ВОКД-2,4	ВОКД-3,0	ВОКД-3,6	ВОКР-1,8
Диаметр рабочего колеса, мм	1000	1500	1800	2400	3000	3600	1800
Производительность в рабочей зоне, м ³ /мин	5-23	13-53	17-70 23-93	17-133 22-167	42-220 52-265	60-280 90-377	13-66 18-90
Статическое давление в рабочей зоне, даПа	85-280	118-320	93-265 165-470	110-300 170-475	94-340 135-450	80-250 160-475	63-237 125-445
Скорость вращения ротора, мин ⁻¹	1500	1000	750 1000	600 750	500 600	375 500	750 1000
Окружная скорость, м/с	76,5	76,5	70,6 94,2	75,5 94,2	78,5 94,2	70,6 94,2	68,7 94,2
Статический КПД в рабочей зоне	0,60-0,74	0,60-0,77	0,60-0,77	0,60-0,77	0,60-0,77	0,60-0,77	0,60-0,78
Число ступеней	2	2	2	2	2	2	2
Способ регулирования	лопатками РК	лопатками РК	лопатками РК	лопатками РК	лопатками РК	лопатками РК	лопатками РК
Потребляемая мощность, кВт	15-72	40-180	32-190 100-450	50-400 100-780	125-825 200-1420	150-900 400-2000	30-170 75-435
Масса вентилятора, кг	3010,00	5576,0	9233,0	18885,0	32000,0	396000,0	8020,0

Продолжение табл. 2

Параметры	Вентиляторы						
	ВОД-11П	ВОД-16	ВОД-18	ВОД-21М	ВОД-30М	ВОД-40	ВОД-50
Диаметр рабочего колеса, мм	1100	1600	1800	2100	3000	4000	5000
Производительность в рабочей зоне, м ³ /мин	7-33	12-67	17-70 23-93	20-110	50-230	86-400	160-650
Статическое давление в рабочей зоне, даПа	115-395	90-430	93-265 165-470	80-340	100-330	80-292	100-335
Скорость вращения ротора, мин ⁻¹	1500	1000	750 1000	750	500	375	300
Окружная скорость, м/с	82,7	84,0	70,6 94,2	82,5	78,5	78,5	78,5
Статический КПД в рабочей зоне	0,60-0,81	0,60-0,79	0,60-0,77	0,60-0,80	0,60-0,80	0,60-0,77	0,60-0,806
Число ступеней	2	2	2	2	2	2	2
Способ регулирования	лопатками РК	лопатками РК	лопатками РК	лопатками РК	лопатками РК	лопатками РК	лопатками РК
Потребляемая мощность, кВт	30-110	40-270	32-190 100-450	100-430	100-750	300-1200	500-2000
Масса вентилятора, кг	4600,0	6100,0	9233,0	11700,0	31100,0	50400,0	88000,0

Таблица П.3

Техническая характеристика центробежных вентиляторов

Параметры	Вентиляторы						
	ВЦПД-8	ВЦ-11	ВШЦ-16	ВЦП-16	ВЦ-16	ВЦ-25	ВЦ-31,5М
Диаметр рабочего колеса, мм	800	1100	1600	1600	1600	2500	3200
Производительность в рабочей зоне, м ³ /мин	5-22	5,5-21	12-43	10-46	12 – 43	28-97	45-166
Статическое давление в рабочей зоне, даПа	250-920	135-390	110-338	200-920	350 – 114	155-470	185-510
Скорость вращения ротора, мин ⁻¹	3000	1500	1000	1500	1000	750	600
Окружная скорость, м/с	124,8	84,5	82,0	123,0	83,6	98,2	100,5
Статический КПД в рабочей зоне	0,60-0,85	0,60-0,85	0,60-0,85	0,60-0,84	0,60 - 0,84	0,60-0,84	0,60-0,84
Число сторон всасывания	2	1	1	1	1	1	1
Способ регулирования	ОНА*	ОНА	ОНА	ОНА	ОНА	ОНА	ОНА
Потребляемая мощность, кВт	60-130	25-60	50-100	160-250	65-125	200-355	360-640
Масса вентилятора, кг	3060,0	2900,0	5400,0	4500	3541,0	8600,0	13750,0

Параметры	Вентиляторы					
	ВЦЗ-32	ВЦД-32М	ВЦД-40	ВРЦД-4,5	ВЦД-47У	ВЦД-47А"Север"
Диаметр рабочего колеса, мм	3200	3200м	4000	4600	4700	4700
Производительность в рабочей зоне, м ³ /мин	50-175	35-305	90-505	140-570 100-420	90-580 150-580	80-715
Статическое давление в рабочей зоне, даПа	180-700	50-510	100-890	270-820 150-460	840-85 840-230	90-920
Скорость вращения ротора, мин ⁻¹	600	300-600	300-600	500 375	250-495 500	250-490
Окружная скорость, м/с	100,5	100,5	125,6	120,0 90,0	120,5 123,0	120,5
Статический КПД в рабочей зоне	0,60-0,85	0,60-0,84	0,60-0,85	0,60-0,85	0,60-0,85	0,60-0,86
Число сторн всасывания	1	2	2	2	2	2
Способ регулирования	Закрылки	ОНА	МВК**	ОНА	МВК ОНА	МВК
Потребляемая мощность, кВт	300-1150	1180	1200-3100	1500-3650 650-1500	1250-3000	1250-4300
Масса вентилятора, кг	16600,0	25400,0	50400,0	99690,0	22120,0	86600,0

* – осевой направляющий аппарат;

** – машинно-вентильный каскад

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРЫ ВЕНТИЛЯТОРОВ.....	5
Конструкции шахтных вентиляторов.....	6
Параметры шахтных вентиляторов	10
Вопросы для самопроверки	14
Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ.....	15
Понятие	15
Напорная характеристика вентилятора	16
Индивидуальная характеристика вентилятора	17
Безразмерная характеристика и сводный график	21
Способы построения характеристик	25
Вопросы для самопроверки	26
Глава 3. РАБОТА ВЕНТИЛЯТОРОВ НА СЕТЬ.....	27
Работа одиночного вентилятора на сеть	27
Совместная работа вентиляторов на сеть.....	35
Работа ВМП на трубопровод большой длины	51
Вопросы для самопроверки	54
Глава 4. ВЕНТИЛЯТОРЫ ГЛАВНОГО И МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ.....	55
Осевые вентиляторы главного проветривания	55
Центробежные вентиляторы главного проветривания	66
Вентиляторы местного проветривания	75
Тенденции дальнейшего развития вентиляторостроения.....	86
Вопросы для самопроверки	90
Глава 5. ВЫБОР И РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯТОРА ДЛЯ РАБОТЫ НА СЕТЬ	91
Расчетные параметры вентилятора	91
Требования к вентилятору и рекомендации по его выбору.....	96
Регулирование режима работы вентилятора.....	99
Вопросы для самопроверки	108

Глава 6. ПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРОВ.....	109
Нерегулируемый электропривод.....	110
Привод вентиляторов местного проветривания.....	111
Привод со ступенчатым регулированием скорости.....	112
Привод с плавным регулированием скорости.....	114
Вопросы для самопроверки	116
Глава 7. ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ УСТАНОВКИ.....	117
Назначение и комплектация установок.....	117
Типы вентиляторных установок.....	120
Вспомогательные устройства установок.....	128
Аппаратура управления, автоматизации и контроля.....	131
Вопросы для самопроверки	
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	
ПРИЛОЖЕНИЯ	

Учебное издание

Ивановский Игорь Георгиевич

ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ

Редактор В.В. Сизова
Корректор В.В.Сизова
Технический редактор Н.М. Белохонова

Подписано в печать 2003г. Формат 60x84/16
Усл. печ. л. 16,74. Уч.-изд. л. 12,02
Тираж 100 экз. Заказ

Издательство ДВГТУ, 690950, Владивосток, ул. Пушкинская, 10
Типография издательства ДВГТУ, 690950, Владивосток, ул. Пушкинская, 10