

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И ОХРАНЫ
ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА**

ВЕНТИЛЯТОРЫ

**Методические рекомендации
по дисциплине «Насосы и вентиляторы»
для студентов специальности 1-70 04 02
«Теплогазоснабжение, вентиляция
и охрана воздушного бассейна»
дневной и заочной форм обучения**

Брест 2014

УДК 697.911

Методические рекомендации предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Насосы и вентиляторы» в соответствии с учебной программой специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна».

Настоящие рекомендации предназначены для оказания методической помощи при изучении основных типов вентиляторов и условий их применения в области тепло- и газоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и холодоснабжения, для закрепления теоретического материала и привития навыков работы с изучаемым оборудованием и приборами.

Составители: Сальникова С.Р., ст. преподаватель
Черников И.А., к.т.н., доцент

Рецензент: Ведущий специалист сектора отопления и вентиляции
проектно-конструкторского отдела государственного
предприятия «Госстройэкспертиза по Брестской области»
Ю.Н. Новик

Учреждение образования
© «Брестский государственный технический университет», 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	4
1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДЦИИ.....	5
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЕНТИЛЯТОРАХ.....	5
2.1. Устройство радиальных вентиляторов.....	6
2.2. Устройство осевых вентиляторов.....	9
2.3. Устройство диагональных вентиляторов.....	10
2.4. Устройство диаметральных (тангенциальных вентиляторов).....	11
2.5. Область применения. Назначение. Установка	12
2.6. Условные обозначения вентиляторов	14
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫБОРУ ВЕНТИЛЯТОРОВ	16
3.1. Требования, обязательные для исполнения при выборе вентилятора.....	17
3.2. Аэродинамические характеристики и подбор вентиляторов.....	17
3.3. Порядок подбора вентиляторов	19
3.4. Примеры подбора вентилятора	21
4. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ФОРМУЛЫ ПЕРЕСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЕНТИЛЯТОРОВ.....	24
4.1. Примеры пересчета параметров вентиляторов	26
5. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ РАБОТА ВЕНТИЛЯТОРОВ В СЕТИ ВОЗДУХОВОДОВ	28
5.1. Параллельная работа вентиляторов	29
5.2. Последовательная работа вентиляторов.....	30
5.3. Примеры построения суммарных характеристик двух вентиляторов	31
6. ПРИЛОЖЕНИЯ	35
Литература	43

Введение

Настоящие методические рекомендации подготовлены для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» в соответствии с учебной программой дисциплины «Насосы и вентиляторы».

Основным назначением данных методических рекомендаций является разъяснение физической сущности изучаемых процессов, ознакомление студентов с методикой проведения работ, а также закрепление теоретического материала по изучаемой дисциплине.

Краткое изложение теории изучаемого предмета с подробным описанием основных типов вентиляторов и условий их применения облегчит самостоятельную подготовку и решение конкретных технических задач.

1. Общие методические рекомендации

Насосы, вентиляторы и компрессоры являются основным и неотъемлемым элементом систем отопления, тепло- и газоснабжения, холодоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Изучение принципа действия, устройства, характеристик и особенностей применения нагнетателей является базой для успешного освоения остальных специальных дисциплин и основой успешной производственной деятельности.

Изучение курса «Насосы и вентиляторы» является продолжением ранее начатого процесса подготовки специалистов высшей квалификации в области теплогазоснабжения и вентиляции и базируется на знаниях, полученных при изучении физики, математики, теоретической механики, механики жидкости и газа, термодинамики, тепломассообмена и т.д. При изучении данного курса и при осуществлении практической эксплуатации нагнетателей требуются знания также в области электротехники, деталей машин, материаловедения и т.д.

Цель методических рекомендаций:

а) закрепить и углубить знания, полученные студентами в процессе изучения курса;

б) научить студентов комплексно применять полученные знания при самостоятельном решении технических вопросов, связанных с комплексной механизацией основных производственных процессов;

в) воспитать у студентов чувство ответственности за порученную работу и личной инициативы при решении поставленной задачи;

г) подготовить студентов к самостоятельной работе со справочной литературой, действующими ГОСТами, ведомственными нормативами, инженерными методами расчета, применяемыми в проектных организациях и промышленности и выработать навыки в составлении расчетно-пояснительных записок.

Конечной целью дисциплины является подготовка студентов к выполнению дипломного проекта.

2. Общие сведения о вентиляторах

Вентиляторы – лопаточные машины, предназначенные для перемещения воздуха или других газопаровоздушных смесей. Основное назначение вентилятора заключается в перемещении требуемого количества воздуха, для чего вентилятор должен создавать определенное давление, необходимое для преодоления сопротивления воздушного тракта и выпуска потока с определенной скоростью.

Вентиляторы подразделяются:

– по конструктивному решению – на радиальные (центробежные) и осевые одностороннего и двустороннего всасывания, диагональные, диаметральные;

– по развиваемому давлению – низкого (до 1 кПа), среднего (до 3 кПа) и высокого (до 12 кПа) давления;

– по условиям эксплуатации – на вентиляторы общего назначения из углеродистой стали, оцинкованной стали, пластмассы для перемещения чистого или мало запыленного воздуха и неагрессивных газоздушных смесей с температурой до 80°C и специальные (из разнородных материалов, сплавов) – для перемещения газопаровоздушных, взрывоопасных смесей с агрессивными примесями;

– по схеме соединения с электродвигателем – непосредственно с электродвигателем на одной оси, с помощью эластичной муфты и клиноременной передачи;

– по вращению – правого и левого (со стороны всасывания);

– по назначению, расположению в сети воздухопроводов – на бытовые, каналные, крышные.

Наиболее важными характеристиками вентиляторов являются:

- аэродинамические характеристики;
- акустические характеристики;
- габаритно-массовые показатели;
- эргонометрические показатели.

Аэродинамические характеристики – это давление, развиваемое вентилятором, производительность, которую он имеет, и потребляемая при этом мощность.

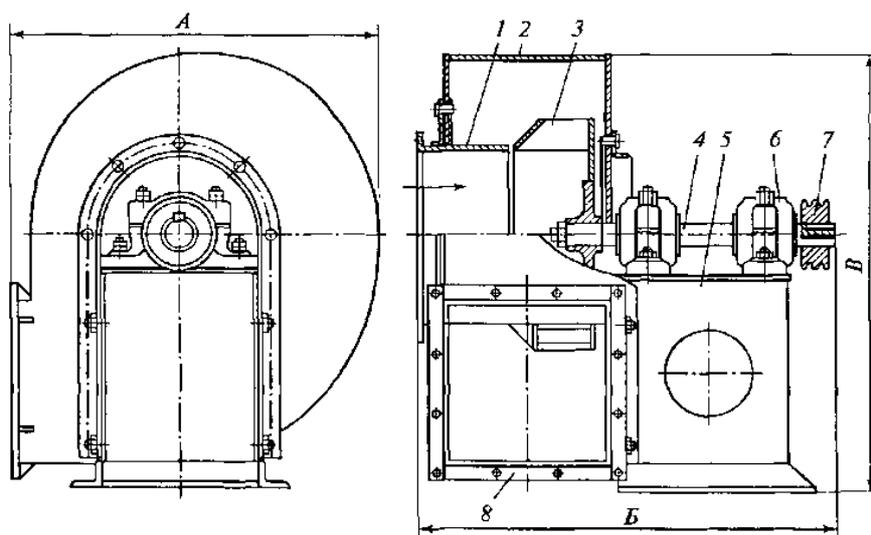
Акустические (шумовые) характеристики – это волны сжатия, распространяющиеся в воздухе. В связи с расширением области применения вентиляторов существенно повышаются требования к их шуму и вибрациям. Измерение шума производят при помощи шумомера. При измерениях шума, в том числе шума вентиляторов, используют, в основном, две физические величины: звуковое давление P (Па) либо P (дБ, дБА) и звуковую мощность W (Вт) либо W (дБ, дБА).

Габаритно-массовые параметры зависят от аэродинамической характеристики вентилятора, выбираемых акустических параметров, типа аэродинамической схемы, потребляемой мощности.

Эргономические параметры (внешний вид вентилятора) характеризуют отношение производителя к выпускаемой продукции. Это относится к внешнему виду и качеству лакокрасочного покрытия, удобству монтажа и обслуживания.

2.1 Устройство радиальных вентиляторов

Радиальный (центробежный) вентилятор (рис.1) состоит из трех основных элементов: лопаточного радиального колеса 3 с лопатками, закрепленного на валу 4 электродвигателя, входного или всасывающего патрубка 1, нагнетательного (выходного) патрубка и кожуха (корпуса) вентилятора 2. Лопаточное рабочее колесо расположено в спиральном корпусе. При вращении колеса воздух, поступающий через входное отверстие, попадает в каналы между лопатками колеса, под действием возникающей центробежной силы перемещается по этим каналам, собирается спиральным корпусом и направляется в его выпускное отверстие.



1 – входной патрубок; 2 – корпус; 3 – рабочее колесо; 4 – вал; 5 – стойка;
6 – подшипники; 7 – шкив; 8 – фланец выходного патрубка

Рисунок 1 – Центробежный вентилятор общепромышленного назначения

Радиальные колеса обычного типа состоят из лопаток, переднего диска, заднего диска и ступицы. Литые или точеные ступицы, предназначенные для насаживания колес на валы, крепят на заклепках, прикрепляют болтами или приваривают к задним дискам. К дискам, в свою очередь, прикрепляют лопатки с помощью заклепок или сварки.

Конструктивное исполнение радиальных вентиляторов регламентирует ГОСТ 5976-90 «Вентиляторы радиальные общего назначения. Общие технические условия».

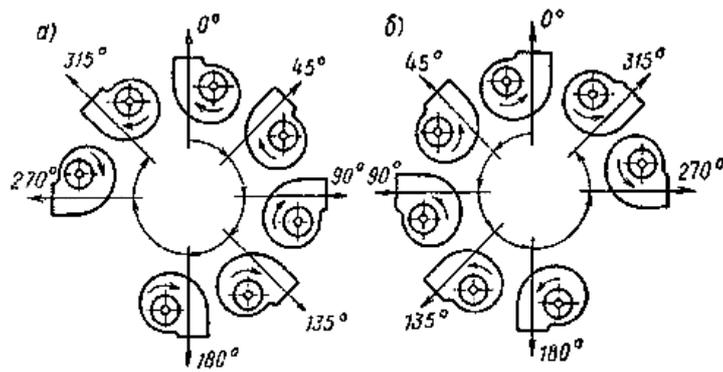
Радиальные вентиляторы одностороннего и двухстороннего всасывания правого вращения имеют колесо, вращающееся (если смотреть на вентилятор со стороны всасывания) по часовой стрелке, а левого — колесо, вращающееся против часовой стрелки (Рис.2).



B – загнутые назад; R – прямые радиальные; F – загнутые вперед

Рисунок 2 – Формалопаток и расположение относительно оси ротора

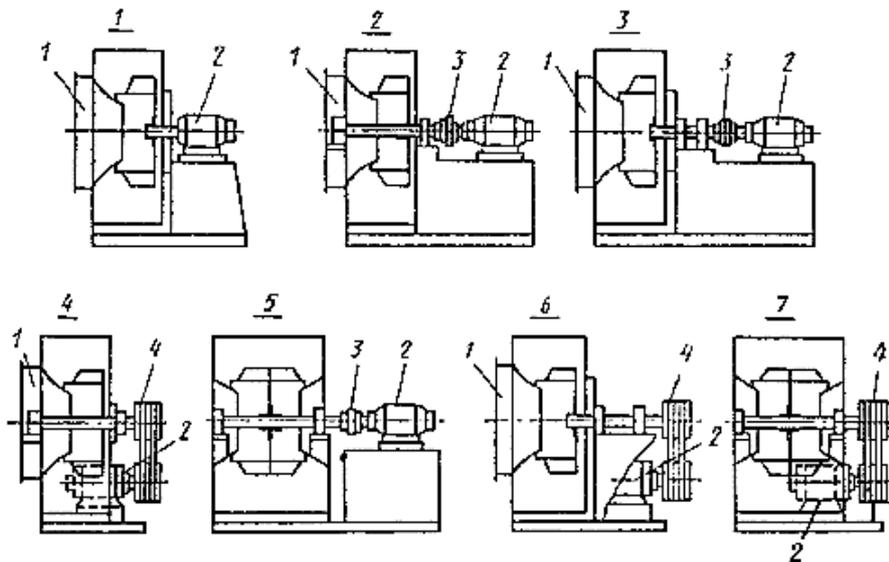
Положения кожухов радиальных вентиляторов определяются углом поворота корпуса относительно исходных положений. Отсчет углов производится по направлению вращения рабочего колеса (Рис.3).



**Рисунок 3 – Положение корпуса радиальных вентиляторов
правого (а) и левого (б) вращения**

Вентиляторы, как правило, приводят в действие электродвигателями (Рис.4), с которыми они соединяются одним из следующих способов:

- а) непосредственно на одном валу или через эластичную муфту;
- б) клиноременной передачей с постоянным передаточным отношением;
- в) регулируемой бесступенчатой передачей через гидравлические и индукторные муфты скольжения.



- 1-е – рабочее колесо вентилятора посажено непосредственно на вал электродвигателя;
- 2-е – вал с рабочим колесом укреплен в подшипнике и соединен муфтой с электродвигателем; 3-е – вал с рабочим колесом укреплен в двух подшипниках и соединен муфтой с электродвигателем; 4-е – вал с рабочим колесом укреплен в подшипнике и соединен с электродвигателем клиноременной передачей; 5-е – вал с рабочим колесом укреплен в двух подшипниках и соединен с электродвигателем клиноременной передачей;
- 6-е – вентилятор двустороннего всасывания, у которого вал с рабочим колесом укреплен в двух подшипниках и соединен муфтой с электродвигателем; 7-е – вентилятор двустороннего всасывания, у которого вал с рабочим колесом укреплен в двух подшипниках и соединен с электродвигателем клиноременной передачей

**1 – всасывающий коллектор; 2 – электродвигатель;
3 – эластичная муфта; 4 – клиноременная передача**
**Рисунок 4 – Конструктивные схемы соединения радиальных
вентиляторов с электродвигателями**

2.2 Устройство осевых вентиляторов

Простейший осевой вентилятор (рис.5) представляет собой расположенное в цилиндрическом корпусе 1 лопаточное рабочее колесо пропеллерного типа 2. При вращении колеса воздух, поступающий через входное отверстие, под воздействием лопаток перемещается между ними в осевом направлении, причем давление увеличивается. Далее воздух поступает во впускное отверстие.

Осевые колеса состоят из втулок и прикрепленных к ним лопаток. В зависимости от профиля лопаток колеса называют нереверсивными или реверсивными.

Лопатки выполняют из металла или пластмасс, листовые и объемные, причем последние могут быть монолитными (литыми) или пустотелыми.

Втулки осевых вентиляторов изготавливают сварными, литыми и штампованными.

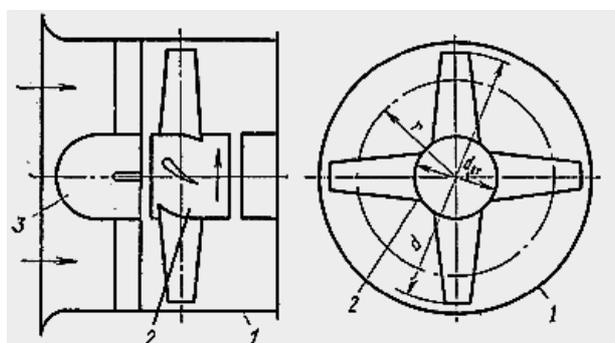


Рисунок 5 – Схема осевого вентилятора

Штампуют одновременно лопатки и втулки, т.е. все колесо полностью. В центре втулок располагают ступицы для посадки колеса на вал привода. Лопатки к втулкам крепят на стержнях или приваривают.

В значительной степени на работу осевого вентилятора влияет зазор между концами лопаток и внутренней поверхностью цилиндрического корпуса – он не должен превышать 1,5% от длины лопатки.

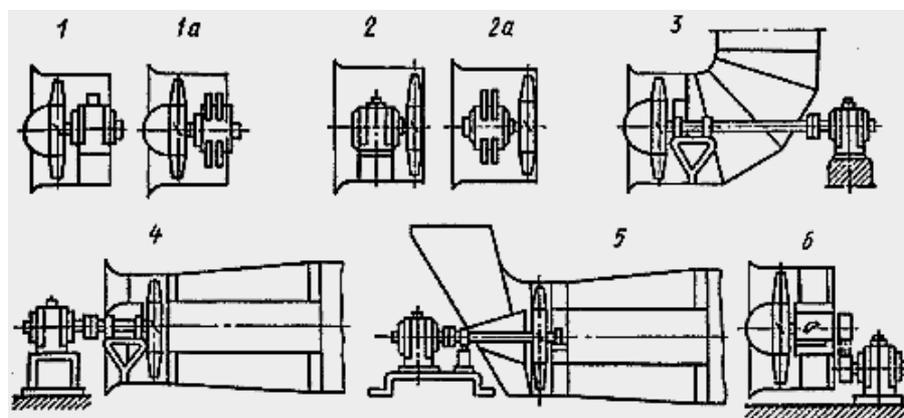


Рисунок 6 – Схемы соединения осевых вентиляторов с электродвигателями

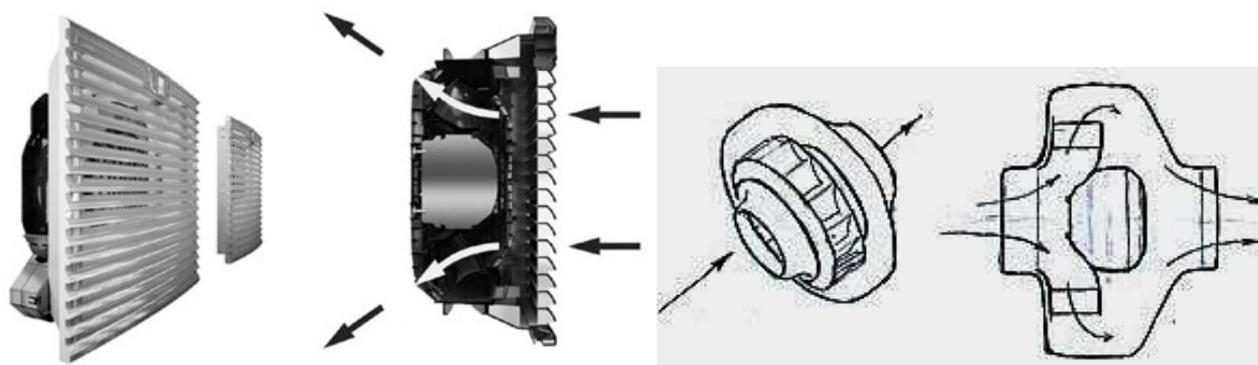
Обычные осевые вентиляторы используют при давлениях от 30 до 300 Па. Их производительность при больших диаметрах колес может достигать нескольких миллионов кубических метров в час.

Проточные размеры и другие параметры осевых вентиляторов регламентированы ГОСТом 11442-90 «Вентиляторы осевые общего назначения. Общие технические условия».

На рис. 6 показаны различные варианты конструктивных схем соединения осевых вентиляторов с электродвигателем. В схеме 2 условия входа воздуха на рабочее колесо хуже, чем в схеме 1, поскольку электродвигатель расположен перед колесом. Схемы 3 и 5 применяются в тех случаях, когда по правилам техники безопасности или по технологическим соображениям электродвигатель нельзя устанавливать в потоке перемещаемой среды. Если по конструктивным соображениям невозможно установить электродвигатель внутри корпуса вентилятора, то применяется схема 4. В случае, когда частоты вращения электродвигателя и рабочего колеса вентилятора не совпадают, применяется схема 6.

2.3 Устройство диагональных вентиляторов

Диагональные вентиляторы являются синтезом радиальных и осевых. Радиальная крыльчатка за счет центробежной силы, действующей в радиальном направлении, увеличивает статическое давление. Достигаемая эффективность – до 80%.



*Рисунок 7 – Устройство диагональных вентиляторов.
Прохождение потока воздуха через диагональный вентилятор*

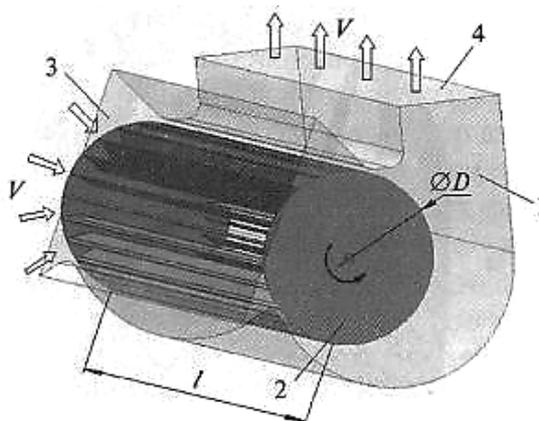
Диагональный вентилятор выполнен в форме цилиндра (Рис.7). Внутри размещается крыльчатка с лопатками, параллельными оси вращения. Воздух, проходя сквозь него, движется в осевом направлении, а затем в лопастном колесе отклоняется на 45 градусов. Обечайки крыльчатки имеют аэродинамический профиль для диагонального прохождения воздуха за счет центробежного побуждения. Задняя обечайка крыльчатки не имеет отверстия и одновременно является частью ротора электродвигателя. Такое устройство позволяет одновременно снизить вес агрегата, а также обеспечить хорошее охлаждение мотора. Диагональные вентиляторы не подлежат обслуживанию. Подшипники неразборные.

Диагональные вентиляторы достаточно компактны, малошумные, дают неплохой напор и расход воздуха для применения в небольших и средних вентиляционных системах. Применяются как вытяжные вентиляторы, а также как приточные вентиляторы в наборных приточных системах.

2.4 Устройство диаметральных (тангенциальных) вентиляторов

Диаметральные (тангенциальные) вентиляторы (рис. 8) состоят из рабочего колеса барабанного типа с загнутыми вперед лопатками и корпуса, имеющего патрубок на входе и диффузор на выходе. Действие диаметральных вентиляторов основано на двукратном поперечном прохождении потока воздуха через рабочее колесо.

Конструкция тангенциальных вентиляторов предусматривает наличие пустого в центре ротора и лопатки осевого вентилятора вдоль периферии. Такой тип роторов называется «белчья клетка». Чаще всего ротор имеет форму продолговатого цилиндра, в котором вместо стенок присутствует крыльчатка, состоящая из загнутых вперед лопастей.



1 – корпус вентилятора, 2 – рабочее колесо,
3 – прямоугольное входное отверстие, 4 – прямоугольное выходное отверстие

Рисунок 8 – Диаметральный вентилятор

Крыльчатка вентилятора диаметрального сечения встроена в форму диффузора, которая напоминает корпус центробежного вентилятора. При этом забор воздуха происходит не с торца вентилятора, а с фронтальной стороны по всей длине устройства. Втягивание воздуха происходит благодаря вращению лопаток, при этом, за счет диффузора, приобретает необходимое ускорение в нужном направлении.

Этот принцип движения воздуха делает тангенциальные вентиляторы схожими с центробежными, т.к. в обоих типах таких аппаратов воздух поступает вдоль периферии ротора, с направлением движения к выходу. Однако, в отличие

от центробежных, вентиляторы диаметрального сечения создают равномерный воздушный поток вдоль всей ширины вентилятора, что позволяет значительно снизить уровень издаваемого шума за счет снижения давления воздуха.

Отличительной особенностью вентиляторов диаметрального сечения является не только низкий уровень шума и создаваемого напора воздуха, но и большие объемы перерабатываемых воздушных масс. Все это делает невозможным производить глубокую фильтрацию воздуха с помощью бытовых кондиционеров.

Диаметральные вентиляторы характеризуются более высокими аэродинамическими параметрами по сравнению с другими типами вентиляторов, в частности, они создают плоский равномерный поток воздуха большой ширины. Они отличаются удобством компоновки, позволяющей осуществлять поворот потока в широких пределах, а также компактностью установки, позволяющей существенно сократить объем, занимаемый вентиляционной установкой. КПД таких вентиляторов может достигать 0,7. Благодаря этим качествам диаметральные вентиляторы нашли самое широкое применение в различных агрегированных установках вентиляции и кондиционирования воздуха: фанкойлах, внутренних блоках сплит-систем, воздушных завесах и т.д.

2.5 Область применения. Назначение. Установка

В зависимости от состава перемещаемой среды вентиляторы изготавливают:

а) обычного исполнения – для перемещения неагрессивных сред с температурой не выше 80°C, не содержащих липких веществ, при содержании пыли и других твердых примесей не более 100 мг/м³. Для вентиляторов двухстороннего всасывания с расположением ременной передачи в перемещаемой среде температура перемещаемой среды не должна превышать 60°C;

б) коррозионностойкие;

в) взрывобезопасного исполнения;

г) пылевые – для перемещения воздуха с содержанием пыли более 100 мг/м³.

Вентиляторы **коррозионностойкие** изготавливают из титана, нержавеющей стали, алюминия (для некоторых сред) и полимерных материалов (винипласт, полипропилен). В отдельных случаях можно применять вентиляторы, выполняемые из углеродистой стали с антикоррозийными покрытиями.

Вентиляторы **взрывобезопасного исполнения** изготавливают в соответствии со специальными техническими условиями.

Для перемещения смесей, взрывающихся от удара, вентиляторы применять нельзя. В этом случае используют **эжекторы**.

Для систем пневмотранспорта древесных отходов устанавливают шестилопастные **пылевые** вентиляторы среднего и высокого давления.

В аспирационных системах могут использоваться как шестилопастные, так и многолопастные вентиляторы среднего или высокого давления, устанавливаемые до и после пылеуловителя.

Для удаления воздуха из верхней зоны помещения устанавливают **крышные** осевые и радиальные вентиляторы.

При транспортировании липкой, волокнистой и цементирующейся пыли крышные вентиляторы запрещается применять.

При повышенных требованиях к бесшумности следует отдавать предпочтение радиальным крышным вентиляторам.

Осевые крышные вентиляторы, как правило, применяют для удаления воздуха с температурой до +40°C при общеобменном вытяжной вентиляции для сети разводящих воздуховодов, а также при необходимости направить удаляемый воздух сосредоточенной струей вверх.

Радиальные крышные вентиляторы (стальные) могут применяться для установок с сетью воздуховодов (в том числе для многоэтажных зданий). Они также могут устанавливаться для удаления воздуха с температурой не выше 50°C от местных укрытий (когда не требуется очистка его перед выбросом в атмосферу).

Коррозионностойкие крышные вентиляторы из титана предназначены для удаления невзрывоопасных газоздушных смесей с агрессивными примесями, вызывающими ускоренную коррозию вентиляторов из углеродистой и нержавеющей сталей. Они могут быть использованы как для общеобменной вытяжной вентиляции помещений, содержащих в верхней зоне агрессивные примеси, так и для систем местных отсосов, гидравлическое сопротивление которых находится в пределах напора, создаваемого вентилятором.

Вентилятор из титана может использоваться во всех средах, в которых происходит пассивация поверхности титана в результате образования окислов, гидридов и сульфокислых соединений титана. Рекомендуется применять этот вентилятор в газоздушных средах, содержащих: 1) влажный хлор (количество влаги более 0,005%); 2) пары растворов хлоридов и щелочей; 3) пары азотной кислоты; 4) окись азота (влажную); 5) пары 0 – 20%-й соляной кислоты при температуре до 60°C (в случае образования конденсата соляной кислоты его концентрация не должна превышать 5% при температуре не выше 30°C); 6) пары 20 - и 95%-й серной кислоты при температуре соответственно не выше 60° и 20°C.

2.6 Условные обозначения вентиляторов

В вентиляции используется система обозначения типов и типоразмеров вентиляторов, установленная ГОСТ 5976-90.

Варианты изготовления вентиляторов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование варианта изготовления	ВР80-75 №2,5-12,5	ВР80-75 №16	ВР80-75 №16, 20	В-Ц4-76 №10	В-Ц14-46 № 2–8
	Индекс варианта изготовления				
Общего назначения из углеродистой стали	С	С	С	Без индекса	Без индекса
Общего назначения, теплостойкие из углеродистой стали	СЖ2	–	–	–	Ж2
Коррозионностойкие из нержавеющей стали	К1	К1	К1	–	К1
Коррозионностойкие, теплостойкие из нержавеющей стали	К1Ж2	–	–	–	К1Ж2
Взрывозащищенные из разнородных металлов	Р	–	–	–	Р
Взрывозащищенные, теплостойкие из разнородных металлов	РЖ2	–	–	–	РЖ2
Взрывозащищенные, коррозионностойкие из разнородных металлов	РК1	–	–	–	РЖ2
Взрывозащищенные, коррозионностойкие, теплостойкие из нержавеющей стали	РК1Ж2	–	–	–	РК1Ж2
Взрывозащищенные из алюминиевых сплавов	КЗ	–	–	–	И1

Температура перемещаемой среды и группы взрывоопасных смесей перемещаемых вентиляторами, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Индекс вариантов изготовления:	Температура перемещаемой среды	Группы взрывоопасных смесей (для взрывозащищенных вентиляторов)
С; К1 и при отсутствии индекса	От минус 40 до 80 °С	–
СЖ2; К1Ж2	От минус 40 до 200 °С	–
Р; РК1; КЗ и И1	От минус 40 до 80 °С	Т1, Т2, Т3, Т4
РЖ2	От минус 40 до 150 оС	Т1, Т2, Т3
РК1Ж2	От минус 40 до 200 °С	Т1, Т2

Обозначение *типа* вентилятора состоит из:

- В – вентилятор;
- Р – радиальный;
- стократной величины коэффициента полного давления на режиме максимального полного КПД, округленного до целого числа;
- величины быстроходности на режиме максимального полного КПД, округленного до целого числа.

Обозначение *типоразмера* вентилятора состоит из:

- типа;
- номера по ГОСТ 10616-90;
- класса в зависимости от величины окружной скорости колеса (в некоторых обозначениях – отсутствует).

Примечание– Вентиляторы, разработанные до введения в действие ГОСТ 5976-90 (В-Ц14-46 и В-Ц4-76), имеют структуру обозначений в соответствии с ГОСТ 5976-73, где использовался термин "центробежный" вместо "радиальный", пятикратная величина коэффициента полного давления на режиме максимального полного КПД, вместо стократной, и отсутствует обозначение классов вентиляторов.

Примеры обозначений:

• Вентилятор типа ВР 80-75, номер 5, 1-го класса, общего назначения с диаметром колеса 0,95Дн, с двигателем АИР71В6, установочной мощностью 0,55 кВт и частотой вращения рабочего колеса 920 об/мин:

ВР 80-75-5.1С, 0,95Дн, АИР71В6, 0,55 кВт, 920 об/мин.

• То же, коррозионностойкий из нержавеющей стали, с виброизоляторами:

**ВР 80-75-5.1К1, 0,95Дн, АИР71В6, 0,55 кВт, 920 об/мин.,
с виброизоляторами.**

• Вентилятор типа ВР 80-75, номер 6,3, 1-го класса, взрывозащищенный, коррозионностойкий, теплостойкий, из нержавеющей стали с диаметром колеса Дн, с двигателем АИМ112М4, установочной мощностью 5,5 кВт и частотой вращения рабочего колеса 1460 об/мин:

ВР 80-75-6,3.1РК1Ж2, Дн, АИМ112М4, 5,5 кВт, 1460 об/мин.

• Вентилятор типа В-Ц14-46, номер 3,15, взрывозащищенный из алюминиевых сплавов с диаметром колеса 1,05Дн, с двигателем В80В4, установочной мощностью 1,5 кВт и частотой вращения рабочего колеса 1400 об/мин:

В-Ц14-46-3,15И1, 1,05Дн, В80В4, 1,5 кВт, 1400 об/мин

• Вентилятор типа ВР 80-76, номер 20, 1-го класса, общего назначения с диаметром колеса Дн, с двигателем АИР250М6, установочной мощностью 55 кВт и частотой вращения рабочего колеса 465 об/мин:

ВР 80-76-20.1С, Дн, АИР250М6, 55 кВт, 465 об/мин.

3. Методические указания к выбору вентиляторов

Процесс выбора вентилятора начинается с изучения физических, технических, экологических и санитарно-гигиенических характеристик, а также параметров перемещаемого воздуха или газа. Особое влияние на показатели перемещаемых сред могут оказывать примеси: пыль, аэрозоли, пары, газы. Важное влияние на характеристики вентилятора и привода оказывают также характеристики места их установки: геометрические параметры помещения, где предполагается их размещение; температура окружающей среды; категория помещения и т.д. Категории исполнения вентиляторов и электродвигателей по климатическим параметрам окружающей среды их размещения определяются в соответствии с ГОСТ 15150-69.

ГОСТ 15150-69 определяет исполнения машин, приборов и других технических изделий для различных климатических районов, категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

Республика Беларусь относится к макроклиматическому району с умеренным климатом $t^{abc,max} +40$ °С. Климатическое исполнение для этого района обозначается идентификатором «У». В зависимости от места расположения вентилятора и электродвигателя исполнения могут быть:

- на открытом воздухе исп. «1»;
- под навесом исп. «2»;
- в неотапливаемых помещениях исп. «3»;
- в отапливаемых помещениях исп. «4»;
- в помещениях с повышенной влажностью исп. «5».

В соответствии с широким спектром свойств перемещаемых газовых сред промышленностью выпускается и обширная номенклатура вентиляторов, предназначенных обеспечить выполнение предъявляемых требований.

Исходными данными для подбора вентилятора являются полученные в результате расчета аэродинамической характеристики сети воздухопроводов ориентировочные величины расхода L и полных потерь давления P , приведенные к стандартной плотности воздуха $\rho_0 = 1,2$ кг/м³. При этом всегда необходимо стремиться к выбору такого вентилятора, который будет работать наиболее экономично, т.е. при наибольшем КПД η . И при этом всегда необходимо помнить, что даже при незначительном увеличении КПД удорожание самого вентилятора и его монтажа быстро компенсируются при эксплуатации за счет экономии электроэнергии.

В некоторых случаях главной целью подбора является обеспечение компактности, возможности непосредственного соединения с электродвигателем, бесшумности, устойчивости работы вентилятора и т.д.

3.1 Требования, обязательные для исполнения при выборе вентилятора

При выборе вентиляторов следует помнить, что для расширения диапазона характеристик, соответствующих условию $\eta_d \geq 0,9\eta_{\max}$, производителями при сохранении размеров корпуса один и тот же номер вентилятора может комплектоваться колесами с промежуточными диаметрами. Например, вентилятор №8 может иметь колеса: $0,9D_n$ ($0,9 \cdot 0,8 = 7,2$ дм); $0,95D_n$ (7,6 дм); D_n (8 дм); $1,05D_n$ (8,4 дм) и $1,1D_n$ (8,8 дм).

1. По техническим характеристикам и условиям применения вентилятор полностью должен удовлетворять параметрам перемещаемой среды и месту его установки.

2. Вентилятор должен обеспечивать безопасное ведение технологического процесса, удовлетворять требованиям охраны окружающей среды, охраны труда и техники безопасности.

3. Вентилятор должен обеспечивать эффективное использование потребляемой энергии; в соответствии с требованиями ГОСТ 10616-90 его действительный КПД должен удовлетворять условию:

$$\eta_d \geq 0,9\eta_{\max} \quad (1)$$

3.2 Аэродинамическая характеристика и подбор вентилятора

Аэродинамической характеристикой вентилятора называется графическая зависимость между основными параметрами, определяющими работу вентилятора, – полного давления P , мощности N и КПД η от производительности L при постоянном значении частоты вращения рабочего колеса n .

При подборе вентиляторов обычно используются аэродинамические характеристики серийно изготавливаемых вентиляторов, построенные для рабочего участка одного определенного типоразмера и охватывающие различные режимы работы, т.е. соответствующие различной частоте вращения.

Во всех случаях при выборе вентиляторов следует выполнять требования государственных нормативных документов, а также технических условий на их применение, представляемых производителем принятого к установке изделия.

Аэродинамические характеристики вентиляторов, приведенные в каталогах производителей или справочной литературе, составлены для стандартных условий, т.е. для чистого воздуха при: температуре $t = 20^\circ\text{C}$; относительной влажности $\varphi = 50\%$; барометрическом давлении $B = 0,101\text{МПа}$ (760 мм рт.ст.); плотности $\rho = 1,2\text{ кг/м}^3$.

Для условий, отличающихся от стандартных, при выборе вентилятора следует принимать объем воздуха L и полное давление P вентилятора с учетом подсосов в неплотности воздуховодов:

$$L = L_{расч} + k \cdot L_{расч} \quad (2)$$

$$P = P_{расч} \cdot \frac{273 + t}{273} \cdot \frac{0,101 \cdot 1,2}{B_{расч} \cdot \rho_{расч}} \quad (3)$$

где $L_{расч}$ – расчетный объем воздуха при рабочих условиях, м³/ч;

L – количество воздуха, м³/ч, принимаемое для подбора вентилятора;

P – полное давление, МПа, принимаемое при подборе вентилятора;

$P_{расч}$ – расчетное сопротивление сети, МПа;

t – температура воздуха, °С;

$B_{расч}$ – барометрическое давление в месте установки вентилятора, МПа;

$\rho_{расч}$ – плотность воздуха, кг/м³.

Величина подсоса (потерь) воздуха в воздуховодах определяется на основании данных табл.7.1 СНБ 4.02.01-03 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». Количество воздуха следует определять, вводя следующие поправочные коэффициенты k на расчетное количество воздуха:

- для стальных, пластмассовых и асбестоцементных воздуховодов длиной до 50 м – 0,10;
- для остальных длиной более 50 м – 0,15.

При этом требуется и расчет потребляемой мощности на валу электродвигателя N , кВт, которая может отличаться от комплектации вентилятора двигателем для стандартных условий:

- при перемещении чистого воздуха для стандартных условий

$$N = \frac{L \cdot P_{расч}}{3600 \cdot 0,101 \cdot \eta_v \cdot \eta_n}; \quad (4)$$

- при перемещении воздуха с механическими примесями

$$N = \frac{1,2 \cdot L \cdot P_{расч}}{3600 \cdot 0,101 \cdot \eta_v \cdot \eta_n}; \quad (5)$$

где η_v – КПД вентилятора в «рабочей точке»;

η_n – КПД передачи (для вентиляторов, приведенных в каталоге).

Установочную мощность электродвигателя N_y , кВт, определяют по формуле:

$$N_y = k \cdot N, \quad (6)$$

где k – коэффициент запаса мощности для электродвигателей с N :

до 0,5 кВт	1,2,
0,51 – 1,0 кВт	1,15,
1,01 – 2,0 кВт	1,1,
2,01 – 5,0 кВт	1,05.

Подсчитав мощность на валу электродвигателя по каталогам или справочникам, подбирают сам электродвигатель.

3.3 Порядок подбора вентиляторов

1. Выбор типоразмера вентилятора сводится, как правило, к подбору вентилятора, потребляющего наименьшее количество энергии, то есть имеющего наибольший КПД в данной "рабочей точке". Иногда превалирующим является требование минимизации габаритов.

2. Подбор вентилятора по заданным значениям производительности L и полного давления P_v производится по сводному графику (**Приложение Y**), при этом выбирается вентилятор с характеристикой, ближе всего расположенной к заданным параметрам. Полученная точка со значениями L и P_v принимается "рабочей точкой" вентилятора.

3. На графике индивидуальной характеристики выбранного вентилятора определяется рабочий режим ("рабочая точка") в результате пересечения этой характеристики с прямой, параллельной линиям равного КПД, проходящей через точку заданного режима.

По "рабочей точке" вентилятора производится окончательный расчет вентиляционной сети, при котором следует учитывать допуски на полное давление, установленные ГОСТ 5976-90 для характеристик радиальных вентиляторов.

4. При подборе вентиляторов в пределах приведенных характеристик не рекомендуется использовать режимы работы, при которых $\eta < 0,9\eta_{\max}$.

5. На графиках индивидуальных характеристик по выбранной "рабочей точке" находят обозначение типоразмера вентилятора.

6. По полученному обозначению вентилятора в таблицах **Приложения I** находят тип и установочную мощность двигателя, а также массу вентилятора.

При установке вентиляторов в помещениях с температурой $t > 40^{\circ}\text{C}$ и (или) на высоте над уровнем моря более 1000 м расчетную установочную мощность двигателей следует увеличить.

7. Для выбранного типоразмера вентилятора определяют его габаритные, присоединительные и установочные размеры по **рисункам А – Б Приложения III**, а также шумовую характеристику по таблицам **Приложения II**.

8. Данные о динамических нагрузках на строительные конструкции от виброизолированных вентиляторов принимаются в зависимости от типоразмера виброизолятора и частоты вращения рабочего колеса и двигателя.

9. При выдаче задания на динамический расчет строительных конструкций указывают:

- частоту вращения рабочего колеса вентилятора, $n_{\text{в}}$;
- частоту вращения двигателя, n , (только для исполнения 5);
- план расположения и количество виброизоляторов;
- динамическую нагрузку на один виброизолятор при частоте вращения рабочего колеса;
- динамическую нагрузку на один виброизолятор при частоте вращения двигателя (только для исполнения 5).

10. Выбор взрывозащищенных вентиляторов для обеспечения условий взрывобезопасности должен проводиться в зависимости от категории производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности по действующим в установленном законом порядке нормам, категории и группы перемещаемой взрывоопасной смеси по ГОСТ 51330.11-99 и класса зоны взрывоопасного помещения по ПУЭ.

11. Категория производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности, категории и группы перемещаемой взрывоопасной смеси и класса зоны взрывоопасного помещения определяются в технологической или электротехнической части проекта и передаются подразделению или организации, разрабатывающей сантехническую часть проекта.

12. Если перемещаемая среда содержит несколько взрывоопасных веществ, относящихся к различным классам и группам, то выбор вентиляторов производят по наивысшей категории и группе. Например, если одновременно перемещаются смеси ПВТ4 и ПВТ1, то следует подбирать вентилятор для смеси ПВТ4; подбор вентилятора по аэродинамическим, шумовым и другим параметрам, аналогичен подбору вентиляторов общего назначения.

3.4 Примеры подбора вентилятора

Пример 1. – Определить тип вентилятора по каталогу, имеющего при стандартных условиях следующие характеристики.

Исходные данные:

- вентилятор предназначен для перемещения условно чистого воздуха, без волокнистых, агрессивных и взрыво- и пожароопасных примесей;
- место установки вентилятора по ГОСТ 15150: умеренные климатические условия (открыто, не защищен от воздействия атмосферных осадков; под навесом; в техническом помещении и т.д.);
- сведения по трассировке воздуховодов, позволяющие назначить положение кожуха вентилятора и исполнение вентилятора по вращению рабочего колеса;
- расчетные аэродинамические потери в сети (без учета на работу системы подводящих и отводящих каналов) – $P_{расч} = 920$ Па;
- расчетный расход воздуха – $L_{расч} = 27275$ м³/ч;
- суммарная длина магистральных воздуховодов и ответвлений вентиляционной системы – $l = 45$ м;
- расчетное барометрическое давление наружного воздуха – $B_{расч} = 99$ Па (745 мм рт.ст.);
- относительная влажность перемещаемого воздуха – $\phi = 50\%$;
- температура перемещаемого воздуха – $t = 30^{\circ}\text{C}$; воздух без механических, взрыво- и пожароопасных и агрессивных примесей, объемная масса воздуха при этой температуре – $\rho = 1,165$ кг/м³.

Решение задачи:

Производительность вентилятора с учетом потерь воздуха в нагнетающих воздуховодах и подсоса его во всасывающих воздуховодах определяют по формуле (2):

$$L = 27275 + 0,10 \cdot 27\ 275 = 30\ 003 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Давление вентилятора, приведенное к нормальным условиям (формула 3):

$$P = 920 \cdot \frac{273 + 30}{273} \cdot \frac{101 \cdot 1,2}{99 \cdot 1,165} = 1\ 082 \text{ Па}.$$

Пересчет давления обусловлен отличием температуры, барометрического давления и объемной массы перемещаемого воздуха от условий, для которых построены каталожные характеристики вентиляторов.

На сводном графике (Рис.9) находится аэродинамическая характеристика, ближе всего расположенная к этим параметрам.

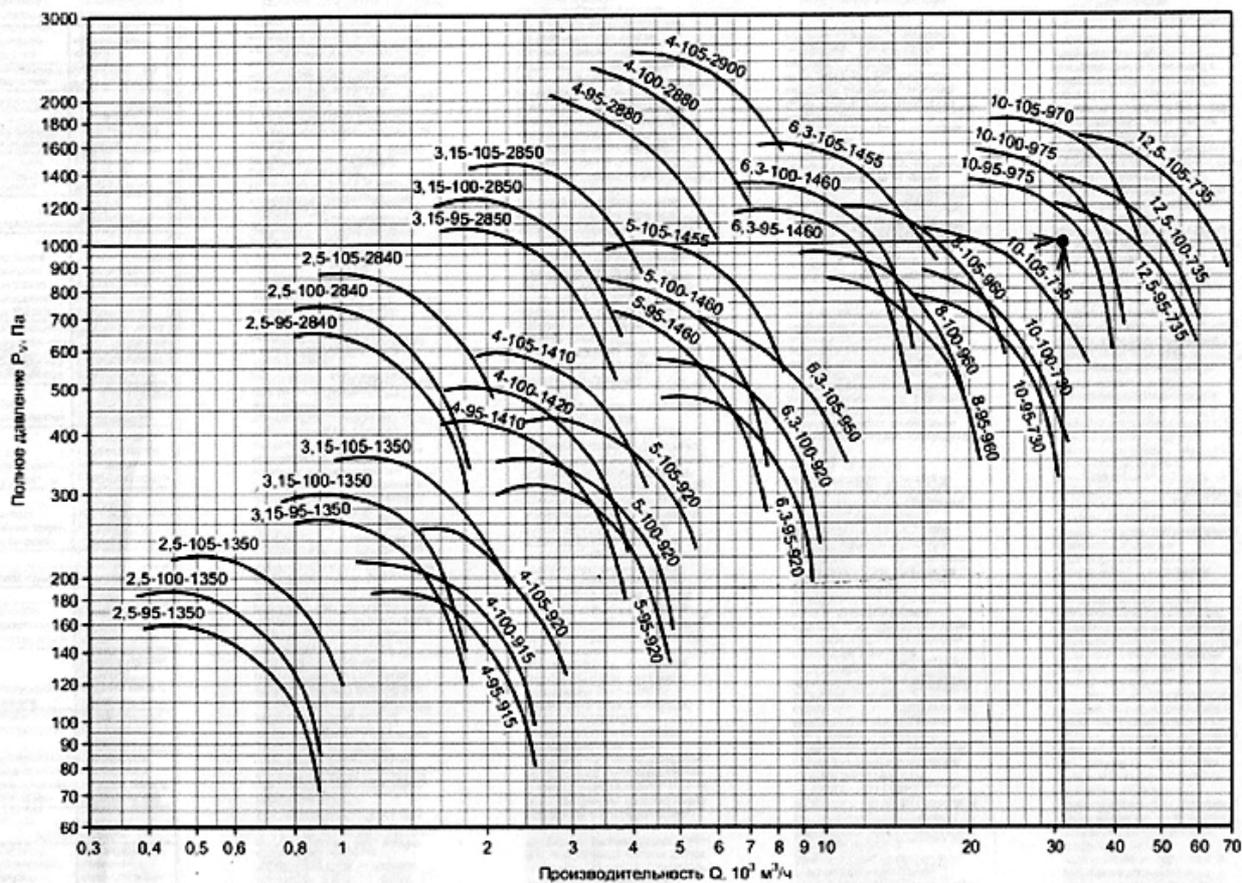


Рисунок 9 – Сводный график характеристик вентиляторов ВР 80-75

В данном случае устанавливаем, что обеспечить заданные параметры могут вентиляторы ВР 80-75-10 ($1,05D_H$) с частотой вращения 735 об/мин. и ВР 80-75-10 ($0,95D_H$) с частотой вращения 975 об/мин.

По графику индивидуальных характеристик (рис.10, 11) определяется рабочий режим – координаты “рабочей точки” вентилятора.

На графиках индивидуальных аэродинамических характеристик, кроме основной шкалы давления, соответствующей перемещению воздуха плотностью $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ при температуре $t = 20^\circ\text{C}$, приведена дополнительная шкала, соответствующая плотности воздуха с температурой $t = 200^\circ\text{C}$, которой следует пользоваться при подборе теплостойких вентиляторов.

По рис. 10 и 11 устанавливаем, что их максимальный КПД равен $\eta_{\max} = 0,81$, соответственно $0,9 \eta_{\max} = 0,9 \cdot 0,81 = 0,73$. Значение $\eta = 0,73$ является минимально допустимым при эксплуатации данных вентиляторов. Таким образом, на характеристиках вентиляторов (рис.10, 11) представлена зона параметров, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 10616, а именно $\eta_d \geq 0,9\eta_{\max}$.

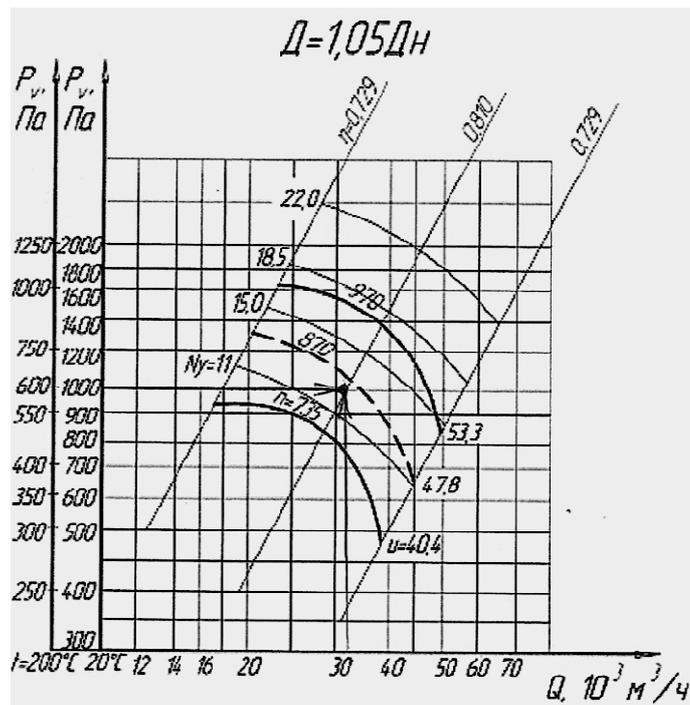


Рис.10 – График индивидуальных характеристик вентилятора ВР80-75-10 с колесом диаметром 1,05 Dном (исполнение 1)

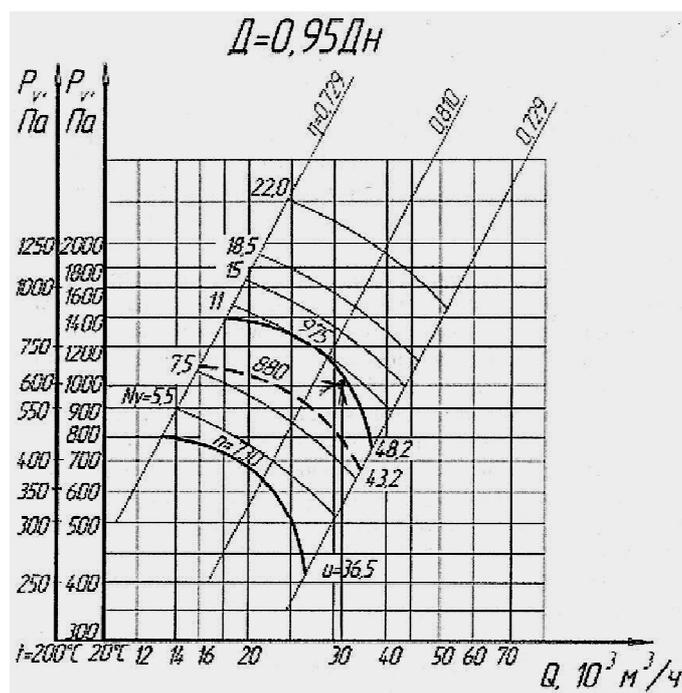


Рисунок 11 – График индивидуальных характеристик вентилятора ВР80-75-10 с колесом диаметром 0,95 Dном (исполнение 1)

По полученному обозначению вентилятора в таблицах **Приложения I** находят тип и установочную мощность двигателя, а также массу вентилятора:

1. Вентилятор типа ВР 80-75, номер 10, 1-го класса, общего назначения с диаметром колеса $0,95D_n$, с двигателем АИР160S6, установочной мощностью $N_y = 11$ кВт, частотой вращения рабочего колеса 975 об/мин., масса вентилятора 580 кг;

2. Вентилятор типа ВР 80-75, номер 10, 1-го класса, общего назначения с диаметром колеса $1,05D_n$, с двигателем АИР160М8, установочной мощностью $N_y = 11$ кВт, частотой вращения рабочего колеса 735 об/мин., масса вентилятора 658 кг.

Для выбранных типоразмеров вентилятора по рисункам А – В **Приложения ШИV** определяют их габаритные, присоединительные и установочные размеры, а также по таблицам **Приложения II** определяют шумовую характеристику.

Таблица 3

№ вентилятора	Размеры, мм															Кол-во, шт.		
	L _{max}	L ₁	H _{max}	h	B ₁	b	A	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	D	D ₁	d	d ₁	n	n ₁	n ₂
10	1440	435	1834	1176	1807	700	150	734	750	–	–	1005	1050	13x20	12x16	5	24	20

Суммарный уровень звуковой мощности:

ВР 80-75, номер 10, 1-го класса, общего назначения с диаметром колеса $1,05D_n$ с частотой вращения рабочего колеса 735 об/мин. – не более 105 дБ;

ВР 80-75, номер 10, 1-го класса, общего назначения с диаметром колеса $0,95D_n$, с частотой вращения рабочего колеса 975 об/мин. – не более 111 дБ.

4. Характеристики и формулы пересчета параметров вентиляторов

В каталогах приведены аэродинамические характеристики вентиляторов в виде графиков зависимости полного давления P_V , развиваемого вентилятором, потребляемой мощности N и полного КПД η от производительности $Q(L)$ при определенной плотности ρ газа перед входом в вентилятор и постоянной частоте вращения его рабочего колеса.

На аэродинамических характеристиках вентиляторов, выполненных по первой конструктивной схеме, приведены данные для синхронной частоты вращения двигателя, а вентиляторов, выполненных по пятой конструктивной схеме – для реальных частот вращения рабочего колеса.

Производительность $Q(L)$ – это расход воздуха, который может переместить вентилятор за определенный промежуток времени, м³/час.

Полное давление P_V – это сумма статического P_{SV} и динамического P_{DV} давления.

Полное давление вентилятора определяется по формуле:

$$P_V = P_{SV} + P_{DV}, \quad (7)$$

где P_{SV} – статическое давление, Па;

P_{DV} – динамическое давление, Па.

Статическое давление P_{SV} – это потенциальная энергия 1 м³ воздуха в рассматриваемом сечении, это давление потока воздуха на стенки воздуховода, перпендикулярно им. Это давление положительно тогда, когда оно больше атмосферного.

Статическое давление вентилятора определяется по формуле:

$$P_{SV} = P_V - P_{DV}. \quad (8)$$

Динамическое давление P_{DV} – это кинетическая энергия потока, отнесенная к 1 м³ воздуха. Это давление всегда положительное и определяется в зависимости от скорости воздуха в воздухопроводе.

Динамическое давление вентилятора определяется по формуле:

$$P_{DV} = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{Q}{F_B} \right)^2, \quad (9)$$

где ρ – плотность перемещаемого газа, кг/м³;

Q – производительность вентилятора, м³/с;

F_B – площадь выходного отверстия вентилятора, м².

Для образования серии вентиляторов данного типа пропорционально изменяют все размеры исходного образца. При новых геометрически подобных размерах, новой частоте вращения или новой плотности перемещаемого воздуха характеристику исходного вентилятора можно соответствующим образом пересчитать и перестроить.

Перерасчет аэродинамических характеристик выполняется при изменении условий работы вентилятора по зависимостям:

- при изменении температуры рабочей среды плотность воздуха рассчитывается по формуле:

$$\rho = \frac{P_a}{RT}, \quad (10)$$

где P_a – атмосферное давление при нормальных условиях, $P_a=101,325$ кПа;

R – газовая постоянная, $R=288$ Дж/кг·К;

T – температура рабочей среды, К° ($t^\circ \text{C} + 273$).

Затем выполняется приведение расчетных параметров к нормальным условиям работы по зависимостям:

$$Q_H = Q; \quad (11)$$

$$P_{VH} = \frac{1.2 P_V}{\rho}; \quad (12)$$

$$N_H = \frac{1.2 N}{\rho}; \quad (13)$$

• при изменении диаметра, частоты вращения рабочего колеса и плотности рабочей среды характеристики пересчитываются по зависимостям:

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{n_1}{n_2} \right) \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3; \quad (14)$$

$$P_{V_2} = P_{V_1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right); \quad (15)$$

$$N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right); \quad (16)$$

$$\eta_2 = \eta_1, \quad (17)$$

где Q_1, n_1, D_1, P_{V_1} и η_1 – исходные характеристики;
 Q_2, n_2, D_2, P_{V_2} и η_2 – рассчитываемые характеристики.

Очень часто встречается необходимость увеличения подачи вентилятора при сохранении той же скорости за счет увеличения диаметра колеса.

Формулы пересчета характеристики при $\rho_2 = \rho_1$ примут в этом случае вид:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2; \quad (18)$$

$$\frac{P_{V_2}}{P_{V_1}} = 1; \quad (19)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2. \quad (20)$$

Эти формулы легко получить из формул (14) поскольку имеем:

$$v_2 = v_1 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_2}{60} = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60}; \quad (21)$$

откуда

$$\frac{D_2 \cdot n_2}{D_1 \cdot n_1} = 1 \quad (22)$$

4.1 Примеры пересчета параметров вентиляторов

Пример 2. – Вентилятор, работая на какую-то сеть воздуховодов с частотой вращения $n_1 = 870 \text{ мин}^{-1}$, обеспечивает $Q_1 = 6200 \text{ м}^3/\text{ч}$ при полном давлении $P_{V_1} = 1300 \text{ Па}$. Какие будут подача Q_2 и полное давление P_{V_2} вентилятора, если увеличить его частоту вращения до $n_2 = 1150 \text{ мин}^{-1}$.

Решение задачи:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} ; Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1} = 6200 \frac{1150}{870} \approx 8160 \text{ м}^3/\text{ч};$$
$$\frac{P_{V_2}}{P_{V_1}} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 ; P_{V_2} = P_{V_1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 = 1300 \left(\frac{1150}{870} \right)^2 \approx 2250 \text{ Па}$$

Пример 3. – Вентилятор с колесом $D_1 = 400$ мм, работая на какую-то сеть воздухопроводов с частотой вращения $n_1 = 1800$ мин.⁻¹, обеспечивает $Q_1 = 3000$ м³/ч при полном давлении $P_{v1} = 800$ Па. Какие будут подача Q_2 и полное давление P_{v2} , если в той же сети воздухопроводов вместо указанного вентилятора будет работать вентилятор того же типа, но с колесом $D_2 = 500$ мм; частота вращения в одном случае неизменная, т. е. $n_2 = n_1 = 1800$ мин.⁻¹, во втором случае $n_2 = 1600$ мин.⁻¹, в третьем – колесо с $D_2 = 500$ мм имеет ту же скорость, что и колесо с $D_1 = 400$ мм, при $n_1 = 1800$ мин.⁻¹.

Решение задачи:

С л у ч а й I: $n_2 = 1800$ мин.⁻¹.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 ; Q_2 = Q_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 = 3000 \left(\frac{500}{400} \right)^3 \approx 5700 \text{ м}^3/\text{ч};$$
$$\frac{P_{v2}}{P_{v1}} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 ; P_{v2} = P_{v1} \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 = 800 \left(\frac{500}{400} \right)^2 \approx 1240 \text{ Па}.$$

С л у ч а й II: $n_2 = 1600$ мин.⁻¹.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 ; Q_2 = Q_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 =$$
$$= 3000 \left(\frac{1600}{1800} \right) \left(\frac{500}{400} \right)^3 \approx 5100 \text{ м}^3/\text{ч};$$
$$\frac{P_{v2}}{P_{v1}} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 ; P_{v2} = P_{v1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 =$$
$$= 800 \left(\frac{1600}{1800} \right)^2 \left(\frac{500}{400} \right)^2 \approx 960 \text{ Па}.$$

С л у ч а й III: $n_2 = n_1$.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 ; Q_2 = Q_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 = 3000 \left(\frac{500}{400} \right)^2 \approx 4650 \text{ м}^3/\text{ч};$$
$$\frac{P_{v2}}{P_{v1}} = 1 ; P_{v2} = P_{v1} = 800 \text{ Па}.$$

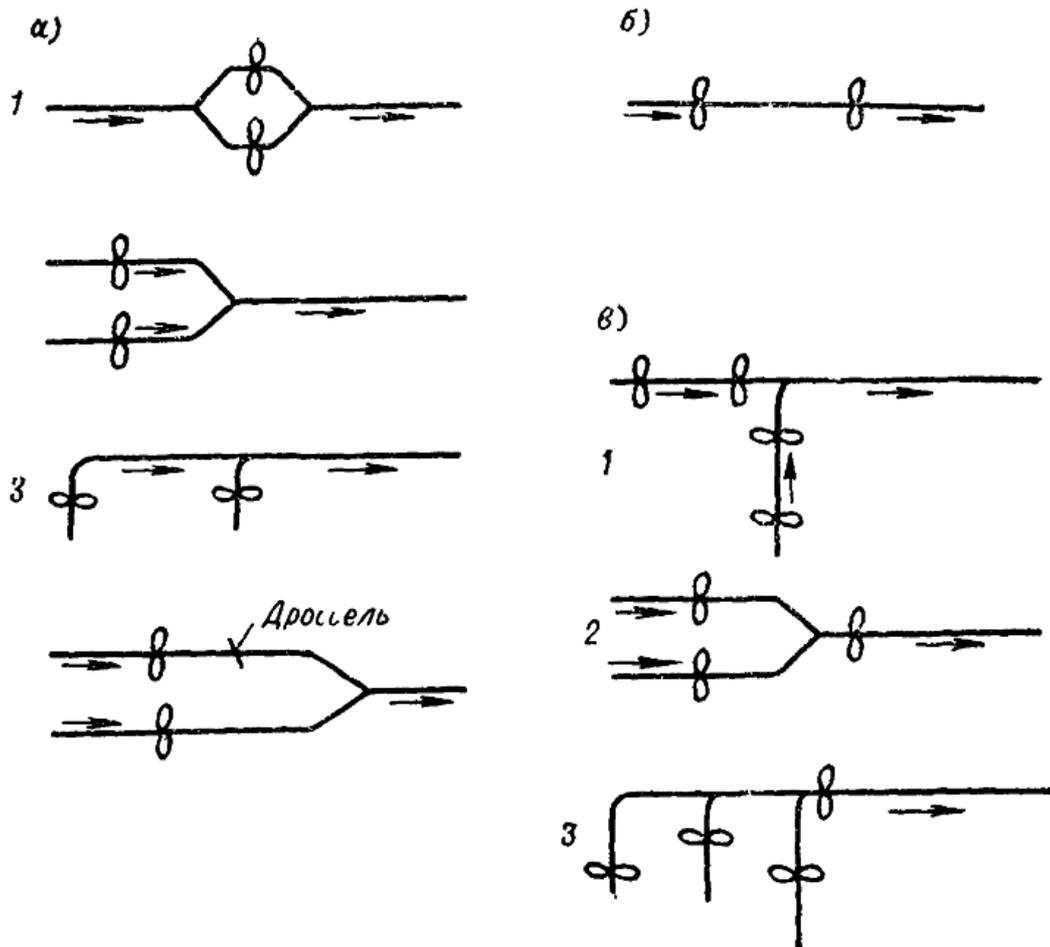
5. Параллельная и последовательная работа вентиляторов в сети воздуховодов

При устройстве вентиляции очень часто устанавливают несколько вентиляторов, которые не только преодолевают индивидуальные сопротивления своих участков сети, но и работают одновременно на одну общую сеть.

Вентиляторы могут работать параллельно (рис. 12а), последовательно (рис. 12б), одновременно параллельно и последовательно (рис. 12в). Для совместной работы может быть принято любое число вентиляторов.

Параллельную работу и одновременно параллельную и последовательную можно осуществлять в различных вариантах по взаимному расположению вентиляторов.

Для правильного выбора режимов работы каждого из совместно работающих вентиляторов нужно уметь строить результирующую или суммарную характеристику всех вентиляторов.



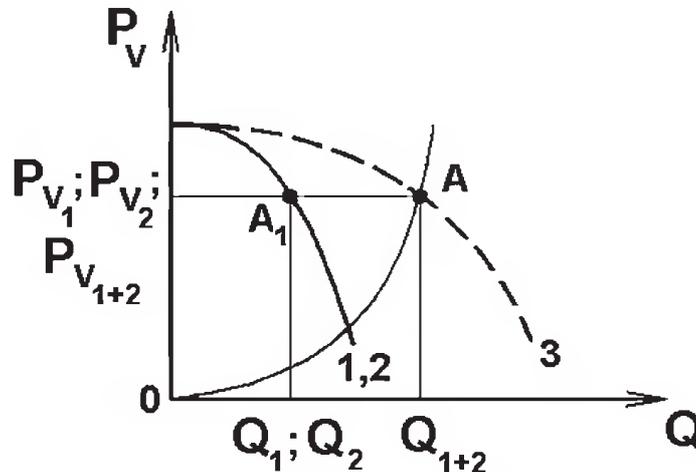
*а – параллельная, б – последовательная;
в – одновременно параллельная и последовательная
Рисунок 12 – Схемы совместной работы вентиляторов*

5.1. Параллельная работа вентиляторов

Схема параллельной работы двух и более вентиляторов рекомендуется для увеличения производительности, когда соответствующее увеличение частоты вращения рабочего колеса или размеров вентилятора невозможно из-за чрезмерного усиления шума, конструктивных или архитектурно-планировочных соображений.

Чтобы получить суммарную характеристику двух параллельно работающих вентиляторов, необходимо сложить их производительности Q при одинаковом давлении P_V .

Построение суммарной кривой давления двух одинаковых параллельно работающих вентиляторов показано на рис. 13.



1, 2 – характеристики параллельно установленных вентиляторов,
3 – характеристика совместной работы двух вентиляторов

Рисунок 13 – Параллельная работа двух одинаковых вентиляторов

При включении вентиляторов в сеть с характеристикой (1+2) режим работы будет определяться точкой **A**:

суммарная производительность –

$$Q_A = Q_{1+2} = Q_1 + Q_2; \quad (23)$$

суммарное давление –

$$P_{V_A} = P_{V_1} = P_{V_2} = P_{V_{1+2}}; \quad (24)$$

суммарная мощность –

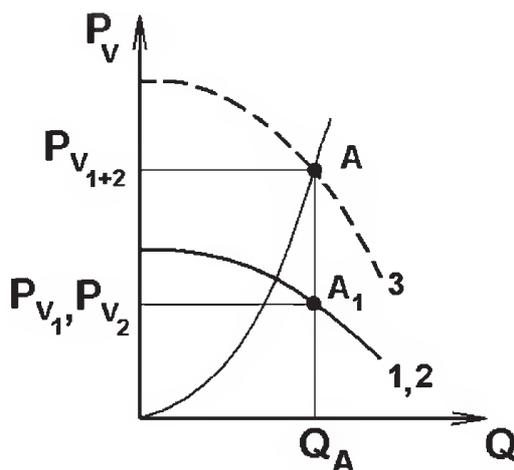
$$N_A = N_{1+2} = N_1 + N_2. \quad (25)$$

Рабочая точка каждого вентилятора будет определяться точкой **A₁**.

При последовательном включении одно и то же количество воздуха или газа последовательно перемещается всеми вентиляторами, и давление, необходимое для преодоления сопротивления всей сети, равно сумме давлений, создаваемых каждым вентилятором. Чтобы получить суммарную характеристику системы из двух вентиляторов, необходимо сложить их давления (ординаты) при фиксированной производительности (рис.15).

Режим работы такой системы определяет точка пересечения суммарной характеристики вентиляторов с характеристикой сети (точка А). При этом вентиляторы развивают давление $P_{V_{1+2}}$, обеспечивая производительность Q_A .

При включении вентиляторов с разными характеристиками возможны ситуации, когда вентилятор включается с более мощным. В этом случае его производительность может увеличиться до значений гораздо больших, чем его собственная максимальная производительность. В этом случае он станет дополнительным сопротивлением для мощного вентилятора. Общее давление снижается по сравнению с тем, что создает при индивидуальной работе в той же сети более мощный вентилятор.



1, 2 – характеристики «дополнительного» и «основного» вентиляторов,
 3 – характеристика совместной работы двух вентиляторов
 Рисунок 15 – Последовательная работа двух одинаковых вентиляторов

Целесообразнее использовать вентиляторы с одинаковой характеристикой. Число последовательно включенных вентиляторов может быть любым и определяется значением необходимого давления.

5.3. Примеры построения суммарных характеристик двух вентиляторов

Пример 4. В сеть, характеризуемую параметрами: полные потери давления – $P_c=700$ Па; производительность – $Q = 12000$ м³/ч, включены параллельно два вентилятора ВР-86-77-5 с номинальным диаметром рабочего колеса $D=D_{ном}$.

Построить суммарную характеристику двух вентиляторов и определить фактическую рабочую точку.

Решение задачи:

При параллельном включении вентиляторов в сеть суммарная производительность равна

$$Q_{1+2} = Q_1 + Q_2, \quad (27)$$

а суммарное давление –

$$P_{V_{1+2}} = P_{V_1} = P_{V_2}. \quad (28)$$

По аэродинамической характеристике вентилятора ВР-86-77-5 с номинальным диаметром рабочего колеса $D=D_{ном}$ (приложение VIII) строится суммарная характеристика. Результаты расчета приведены в таблице 4 и на рис. 16.

Таблица 4 – Построение суммарной аэродинамической характеристики двух параллельно работающих одинаковых вентиляторов

$Q_1, \text{ м}^3/\text{ч}$	3700	4600	5300	6000	7000	8000	8850
$Q_{1+2}, \text{ м}^3/\text{ч}$	7400	9200	10600	12000	14000	16000	17700
$P_{V_{1+2}} = P_{V_1}, \text{ Па}$	800	825	800	760	680	590	465

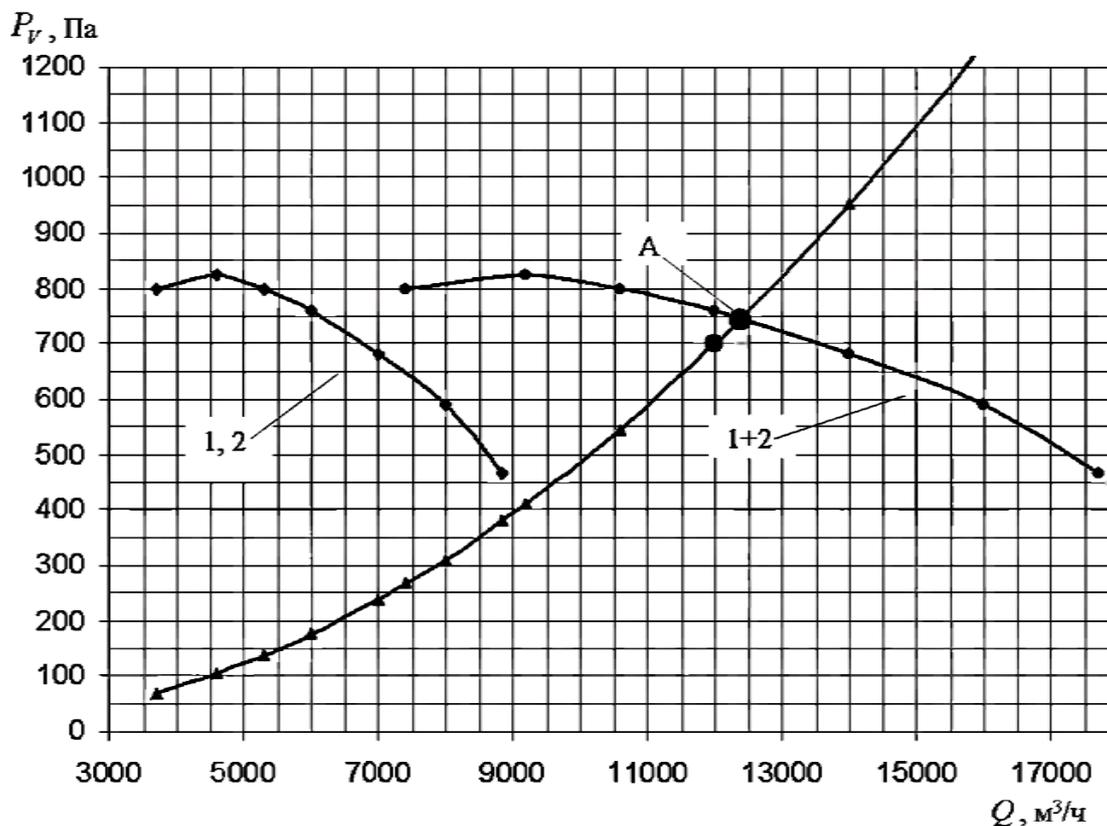


Рисунок 16 – Параллельная работа вентиляторов ВР-86-77-5 в сети

По заданным исходным данным определяется характеристика сети К:

$$Q=12000 / 3600 = 3,333 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$K = \frac{P_c}{Q^2} = \frac{700}{3,333^2} = 63 \text{ (Па} \cdot \text{с}^2)/\text{м}^6.$$

И по зависимости $P_c = K \cdot Q^2$ строится график $P_c = f(Q)$ (таблица 5, рис.16)

Таблица 5 – Построение характеристики сети

$Q_1, \text{ м}^3/\text{ч}$	3700	4600	5300	6000	7000	8000	8850
$Q_1, \text{ м}^3/\text{с}$	1,028	1,278	1,472	1,667	1,944	2,222	2,458
$P_c, \text{ Па}$	67	103	137	175	238	311	381
$Q_{1+2}, \text{ м}^3/\text{ч}$	7400	9200	10600	12000	14000	16000	17700
$Q_{1+2}, \text{ м}^3/\text{с}$	2,056	2,556	2,944	3,333	3,889	4,444	4,917
$P_c, \text{ Па}$	266	412	546	700	953	1244	1523

При параллельном включении вентиляторов в сеть режим работы будет определяться точкой пересечения суммарной характеристики вентиляторов и характеристики сети (точка А). По графику (рис.16) находятся параметры фактической рабочей точки А: производительность – $Q = 12370 \text{ м}^3/\text{ч}$; полное давление – $P_v = 745 \text{ Па}$.

Пример 5. В сеть, характеризуемую параметрами: полные потери давления – $P_c = 1400 \text{ Па}$; производительность – $Q = 6000 \text{ м}^3/\text{ч}$, включены последовательно два вентилятора ВР-86-77-5 с номинальным диаметром рабочего колеса $D = D_{ном}$.

Построить суммарную характеристику двух вентиляторов и определить фактическую рабочую точку.

Решение задачи:

При последовательном включении вентиляторов в сеть суммарная производительность равна $Q_{1+2} = Q_1 = Q_2$, а суммарное давление – $P_{v1+2} = P_{v1} + P_{v2}$. По аэродинамической характеристике вентилятора ВР-86-77-5 с номинальным диаметром рабочего колеса $D = D_{ном}$ (приложение VIII) строится суммарная характеристика. Результаты расчета приведены в таблице 6 и на рис.17.

Таблица 6 – Построение суммарной аэродинамической характеристики двух последовательно работающих одинаковых вентиляторов

$Q_{1+2}=Q_1=Q_2, \text{ м}^3/\text{ч}$	3700	4600	5300	6000	7000	8000	8850
$P_{V_1} = P_{V_2}, \text{ Па}$	800	825	800	760	680	590	465
$P_{V_{1+2}} = P_{V_1} + P_{V_2}, \text{ Па}$	1600	1650	1600	1520	1360	1180	930

По заданным исходным данным определяется характеристика сети К

$$Q = 6000 / 3600 = 1,667 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$K = \frac{P_c}{Q^2} = \frac{7140000}{1,667^2} = 504 \text{ (Па} \cdot \text{с}^2\text{)/м}^6,$$

и по зависимости $P_c = K \cdot Q^2$ строится график $P_c = f(Q)$ (таблица 7, рис.17).

Таблица 7 – Построение характеристики сети

$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	3700	4600	5300	6000	7000	8000	8850
$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	1,028	1,278	1,472	1,667	1,944	2,222	2,458
$P_c, \text{ Па}$	533	823	1092	1400	1905	2488	3272

При последовательном включении вентиляторов в сеть режим работы будет определяться точкой пересечения суммарной характеристики вентиляторов и характеристики сети (точка А). По графику (рис.17) находятся параметры фактической рабочей точки А: производительность – $Q = 6190 \text{ м}^3/\text{ч}$; полное давление – $P_v = 1490 \text{ Па}$.

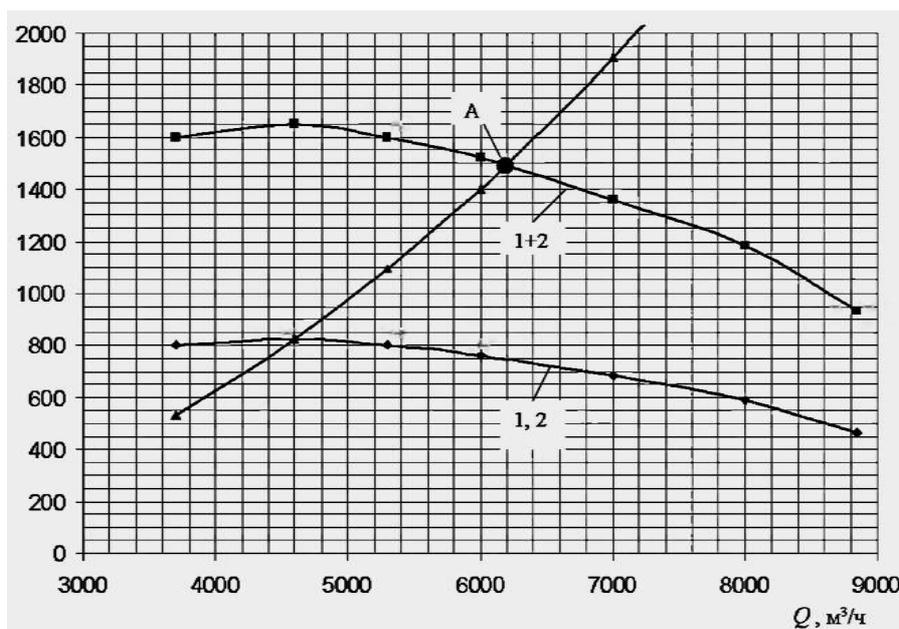


Рисунок 17 – Последовательная работа вентиляторов ВР-86-77-5 в сети

6. ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

ВЕНТИЛЯТОРЫ РАДИАЛЬНЫЕ
ВР80-75-2,5.1С...12,5.1С
ВР80-75-2,5.1К1...12,5.1К1
ВР80-75-2,5.1СЖ2...12,5.1СЖ2
ВР80-75-2,5.1К1Ж2...12,5.1К1Ж2
ТУ4861-010-00270366-94

Типоразмер вентилятора	Конструктивное исполнение	Относительный диаметр колеса	Двигатель		Частота вращения рабочего колеса, об/мин	Параметры в рабочей зоне		Масса вентилятора, не более, кг.	Виброшляторы	
			Типоразмер	Мощность, кВт		Производительность, Ю ³ /ч	Плотное давление, Па		Тип	Кол-во
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ВР80-75-2,5.1С-01 ВР80-75-2,5.1К1-01 ВР80-75-2,5.1СЖ2-01 ВР80-75-2,5.1К1Ж2-01	1	0,95	АИР56А4	0,12	1350	Q,3-Q7	180-100	25	ДО-38	4
			АИР63А2	0,37	2840	Q,7-1,5	790-460	26		
			АИР63В2	0,55	2840	Q,7-1,5	790-460	26		
		1,0	АИР56А4	0,12	1350	Q,4-Q,8	200-119	25		
			АИР63В2	0,55	2840	Q,8-1,7	870-514	26		
			АИР56В4	0,18	1350	Q,4-1,0	224-130	25		
1,05	АИР63В2	0,55	2840	Q,9-2,0	960-560	26				
	АИР71А2	0,75	2840	Q,9-2,0	960-560	30				
	АИР56В4	0,18	1350	Q,7-1,5	290-160	36				
ВР80-75-3,15.1С-01 ВР80-75-3,15.1К1-01 ВР80-75-3,15.1СЖ2-01 ВР80-75-3,15.1К1Ж2-01	1	0,95	АИР71В2	1,1	2850	1,4-3,1	1250-730	40	ДО-38	4
			АИР56В4	0,18	1350	Q,8-1,8	320-180	36		
		1,0	АИР71В2	1,1	2850	1,7-2,8	1390-1200	40		
			АИР80А2	1,5	2850	1,7-3,7	1390-810	44		
			АИР63А4	0,25	1350	Q,9-2,1	350-190	41		
		1,05	АИР63В4	0,37	1350	Q,9-2,1	350-190	41		
			АИР80А2	1,5	2850	1,9-4,2	1530-890	44		
			АИР80В2	2,2	2850	1,9-4,2	1530-890	44		
			АИР63А6	0,18	915	Q,9-2,0	220-130	55		
ВР80-75-4.1С-01 ВР80-75-4.1К1-01 ВР80-75-4.1СЖ2-01 ВР80-75-4.1К1Ж2-01	1	0,95	АИР71А4	0,55	1410	1,5-3,0	520-340	59	ДО-39	4
			АИР100S2	4,0	2880	2,9-6,0	2075-1000	80		
			АИР63А6	0,18	915	1,1-2,3	240-150	55		
		1,0	АИР71А4	0,55	1420	1,7-3,4	580-375	59		
			АИР100L2	5,5	2880	3,4-7,0	2300-1200	80		
		1,05	АИР63В6	0,25	920	1,3-2,7	260-160	55		
			АИР71А6	0,37	920	1,3-2,7	260-160	59		
			АИР71В4	0,75	1410	2,0-4,1	640-400	59		
			АИР80А4	1,1	1410	2,0-4,1	640-400	62		
			АИР100L2	5,5	2900	3,9-8,1	2500-1580	92		
		АИР112М2	7,5	2900	3,9-8,1	2500-1580	99			

Продолжение приложения I

Вентиляторы радиальные ВР80-75 общего назначения(С), коррозионно-стойкие(К1), теплостойкие(Ж2)										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ВР80-75-5.1С-01 ВР80-75-5.1К1-01 ВР80-75-5.1СЖ2-01 ВР80-75-5.1К1Ж2-01	1	0,95	АИР71В6	0,55	920	2,2-4,5	345-200	88	ДО-40	4
			АИР80В4	1,5	1390	3,4-7,0	820-490	93		
		1,0	АИР71В6	0,55	920	2,6-5,3	380-230	88		
			АИР90Л4	2,2	1390	4,0-8,2	910-550	98		
		1,05	АИР80А6	0,75	920	3,0-6,1	420-250	94		
			АИР90Л4	2,2	1390	5,0-9,5	1000-600	99		
			АИР100С4	3,0	1390	5,0-9,5	1000-600	116		
ВР80-75-6,3.1С-01 ВР80-75-6,3.1К1-01 ВР80-75-6,3.1СЖ2-01 ВР80-75-6,3.1К1Ж2-01	1	0,95	АИР80В6	1,1	920	4,5-9,1	540-320	148	ДО-41	4
			АИР90Л6	1,5	920	4,5-9,1	540-320	148		
			АИР100Л4	4,0	1460	6,9-14,1	1300-780	170		
		1,0	АИР112М4	5,5	1460	6,9-14,1	1300-780	179	ДО-41	4
			АИР90Л6	1,5	920	5,2-10,6	600-360	148		
			АИР112М4	5,5	1460	8,0-16,4	1450-870	179		
1,05	АИР100Л6	2,2	950	6,0-12,3	660-390	170				
	АИР132С4	7,5	1455	9,3-19	1600-950	183				
ВР80-75-8.1С-01 ВР80-75-8.1К1-01 ВР80-75-8.1СЖ2-01 ВР80-75-8.1К1Ж2-01	1	0,95	АИР132С6	5,5	960	7,7-19,0	900-440	284	ДО-41	5
		1,0	АИР132С6	5,5	960	9,0-22,0	1000-490	286,5		
		1,05	АИР132М6	7,5	960	10,4-25,5	1100-540	290		
ВР80-75-10.1С-01 ВР80-75-10.1К1-01 ВР80-75-10.1СЖ2-01 ВР80-75-10.1К1Ж2-01	1	0,95	АИР132М8	5,5	730	12,9-27,5	790-410	545	ДО-43	6
			АИР160С8	7,5	730	12,9-27,5	790-410	580		
			АИР160С6	11	975	17,4-36,3	1380-730	580		
			АИР160М6	15	975	17,4-36,3	1380-730	618		
		1,0	АИР160С8	7,5	730	15,1-32,1	880-460	580		
			АИР160М8	11	730	15,1-32,1	880-460	613		
			АИР160М6	15	975	20,3-42,3	1330-810	608		
			АИР180М6	18,5	975	20,3-42,3	1330-810	640		
		1,05	АИР200М6	22	975	20,3-42,3	1330-810	663		
			АИР160М8	11	735	17,8-37,2	970-500	613		
			АИР180М8	15	735	17,8-37,2	970-500	658		
			АИР180М6	18,5	970	23,5-49,0	1680-890	640		
			АИР200М6	22	970	23,5-49,0	1680-890	663		
ВР80-75-10.1С-02 ВР80-75-10.1К1-02 ВР80-75-10.1СЖ2-02 ВР80-75-10.1К1Ж2-02	5	1,0	АИР160С6	11	790	16,5-34,4	1014-530	755	ДО-43	6
			АИР160М6	15	890	18,6-38,8	1290-680	800		
			АИР180М6	18,5	950	20,3-42,3	1530-810	806		
			АИР180С4	22	1060	22,2-46,2	1830-900	795		
ВР80-75-12,5.1С-01 ВР80-75-12,5.1К1-01 ВР80-75-12,5.1СЖ2-01 ВР80-75-12,5.1К1Ж2-01	1	0,95	АИР180М8	15	735	25,7-40,6	1240-1000	787	ДО-43	6
			АИР200М8	18,5	735	25,7-53,6	1240-640	977		
		1,0	АИР200Л8	22	735	30,1-62,7	1370-720	977		
			АИР225М8	30	735	30,1-62,7	1370-720	1022		
		1,05	АИР200Л8	22	735	33,1-45,5	1513-1400	977		
			АИР225М8	30	735	33,1-72,5	1513-790	977		
ВР80-75-12,5.1С-02 ВР80-75-12,5.1К1-02 ВР80-75-12,5.1СЖ2-02 ВР80-75-12,5.1К1Ж2-02	5	1,0	АИР160С8	7,5	460	18,8-39,3	540-280	1123	ДО-44	6
			АИР160М8	11	580	23,7-49,5	860-450	1145		
			АИР180М8	15	650	26,5-55,2	1060-550	1184		
			АИР200Л8	22	735	30,1-62,7	1375-720	1310		
			АИР225М8	30	780	31,9-66,5	1545-800	1360		

Приложение II

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВР80-75

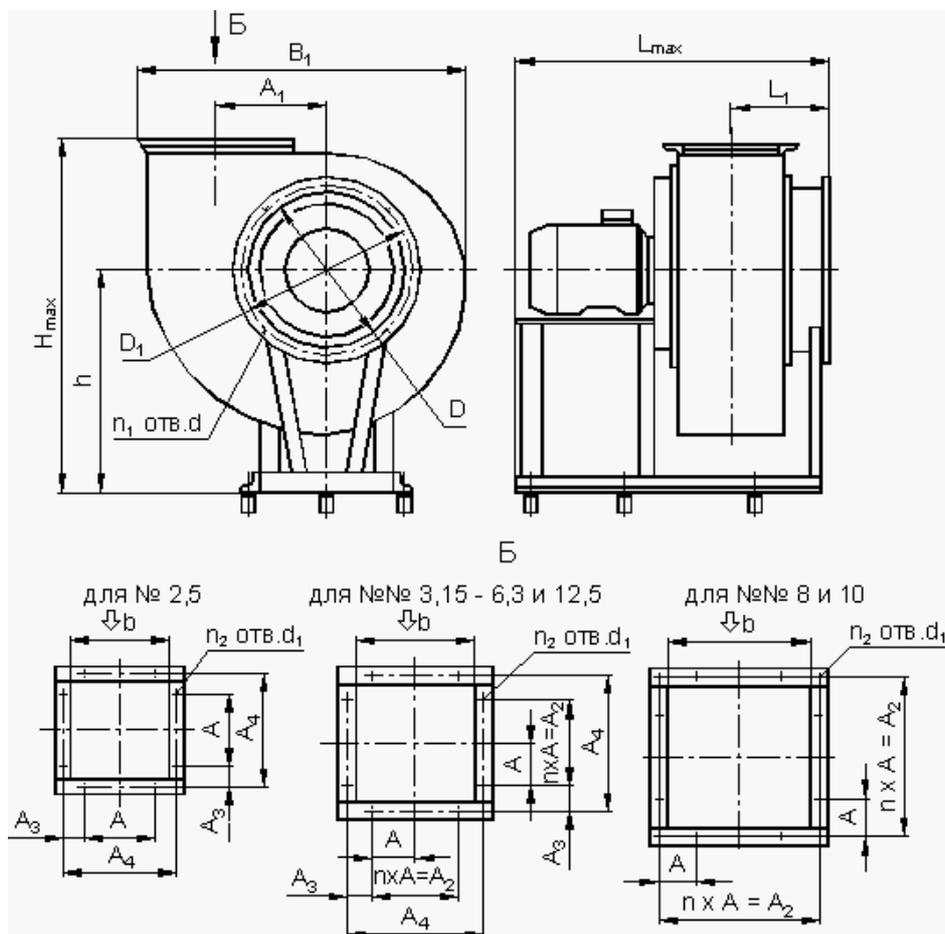
Акустические характеристики измерены со стороны нагнетания при номинальном режиме работы вентилятора. На стороне всасывания уровни звуковой мощности на 3 дБ ниже уровней, приведенных в таблице.

На границах рабочего участка аэродинамической характеристики уровни звуковой мощности на 3 дБ выше уровня звуковой мощности, соответствующего номинальному режиму работы вентилятора.

Вентилятор	n, об/мин	Октавные уровни звуковой мощности, дБ в полосах среднегеометрических частот, Гц, не более								Суммарный уровень звуковой мощности, дБ
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ВР80-75-2,5.1	1350	63	64	68	69	59	55	49	44	73
	2840	82	80	82	84	76	74	65	58	89
ВР80-75-3,15.1	1350	74	72	74	70	70	63	55	49	80
	2850	90	88	90	86	86	79	71	64	96
ВР80-75-4.1	915	69	68	74	70	64	60	51	46	77
	1420	79	78	84	80	74	70	61	56	87
	2880	104	103	99	95	89	85	76	71	102
ВР80-75-5.1	920	75	78	82	73	70	66	61	55	85
	1390	84	87	91	82	79	75	70	64	94
ВР80-75-6,3.1	920	87	88	89	82	78	72	67	65	93
	1460	98	97	98	91	81	81	76	74	102
ВР80-75-8.1	960	95	96	95	93	92	85	84	89	98
ВР80-75-10.1	730	91	94	102	95	93	91	83	84	105
	975	97	100	108	101	99	97	89	90	111
ВР80-75-12,5.1	735	104	107	110	102	99	95	90	84	114

Приложение III

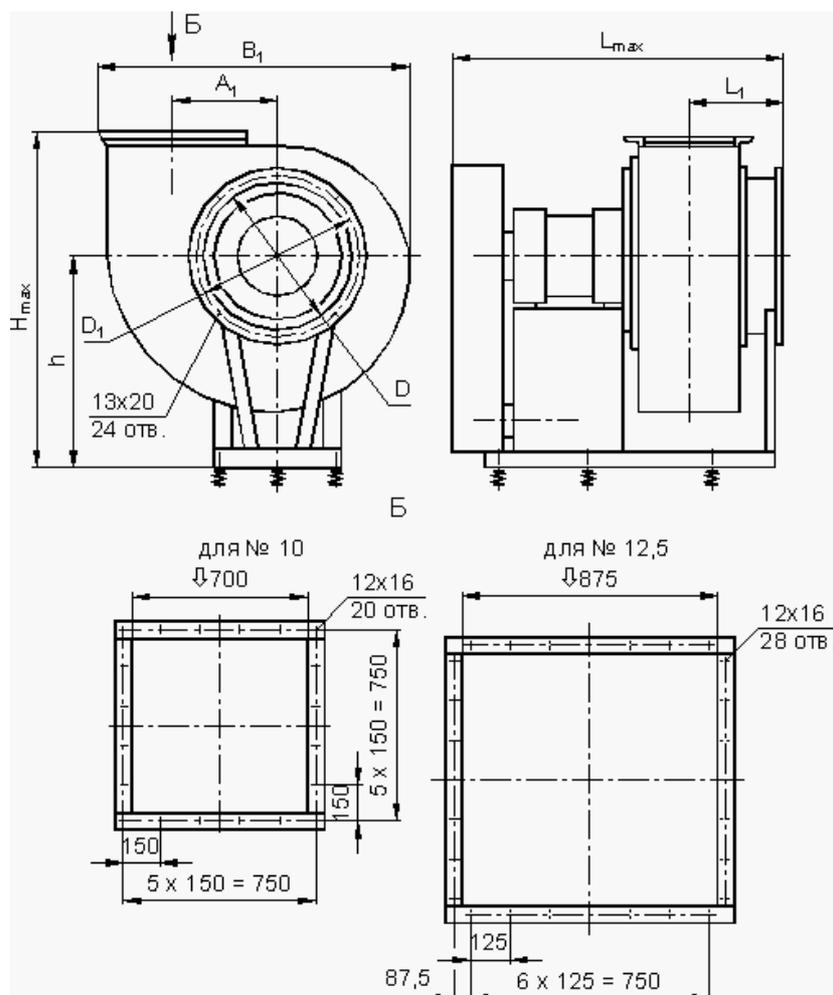
Рисунок А – Вентиляторы ВР80-75-2,5.1 - ВР80-75-12,5.1 (исполнение 1).
Габаритные, присоединительные и установочные размеры



№ вентилятора	Размеры, мм															Кол-во, шт.		
	L _{max}	L ₁	H _{max}	h	B ₁	b	A	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	D	D ₁	d	d ₁	n	n ₁	n ₂
2,5	508	152.5	431	234	480	175	100	162.5	-	52.5	205	253	280	7	7x10	-	8	8
3,15	596	177	535.5	295.5	602	224		208	200	27.5	255	323	345			2		12
4	706	205.5	656.5	365.5	742	280		260	300	40	380	510	530			3	16	
5	760	252	996	650	915	350		324	400	35	470	640	660			4	16	20
6,3	1055	308.5	1148	720	1143	441		410	750	-	-	820	850			5	24	20
8	1179	378	1439	905	1450	560		520	750	-	-	1005	1050			6	28	
10	1440	435	1834	1176	1807	700		734	13x20	87.5	925	1255	1300			12x16	5	24
12,5	1802	542.5	2176	1375	2244	875	125	794	87.5	925	1255	1300	13x20	6	24	28		

Продолжение приложения III

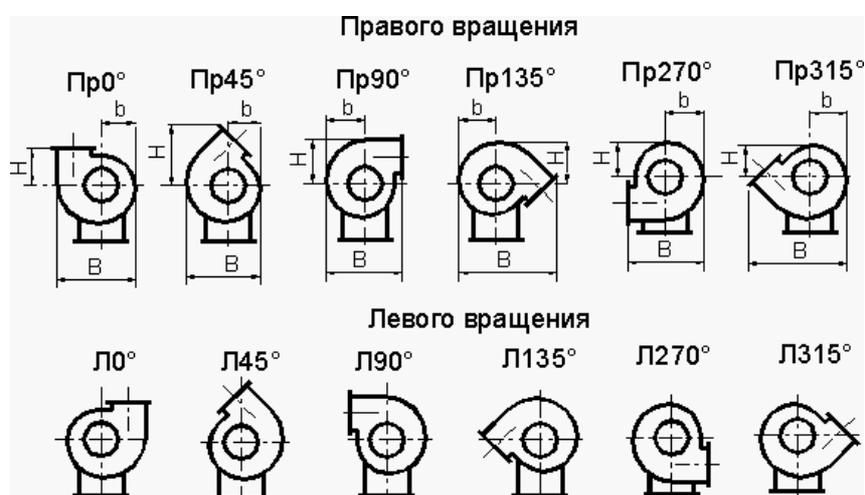
Рисунок Б – Вентиляторы ВР80-75-10.1 - ВР80-75-12,5.1 (исполнение 5).
Габаритные, присоединительные и установочные размеры:



Номер вентилятора	Размеры, мм							
	L_{max}	L_1	H_{max}	H_1	B_1	A_1	D	D_1
10	1665	435	1847,5	1189,5	1919	734	1005	1050
12,5	2100	542	1886	1085	2206	794	1255	130

Приложение IV

Рисунок В – Габаритные размеры вентиляторов ВР80-75-2,5 – ВР80-75-16; ВЦ4-76-10; ВР80-76-16 – ВР80-76-20; ВЦ14-46-2 - ВЦ14-46-8 при различных положениях корпусов



Раздел №1 Вентиляторы радиальные

	Пр0°, Л0°			Пр45°, Л45°			Пр90°, Л90°		
	В	б	Н	В	б	Н	В	б	Н
<u>ВР80-75-2,5</u>	529	189	197	408	173	335	417	220	276
<u>ВР80-75-3,15</u>	656	238	240	515	218	413	516	277	342
<u>ВР80-75-4</u>	742	301	291	648	273	500	642	351	428

	Пр135°, Л135°			Пр180°, Л180°			Пр270°, Л270°			Пр315°, Л315°		
	В	б	Н	В	б	Н	В	б	Н	В	б	Н
<u>ВР80-75-2,5</u>	535	204	235	480	173	234	417	219	189	539	204	173
<u>ВР80-75-3,15</u>	670	258	297	602	253	295	516	277	238	670	258	218
<u>ВР80-75-4</u>	856	322	376	742	313	363	642	351	301	856	322	273

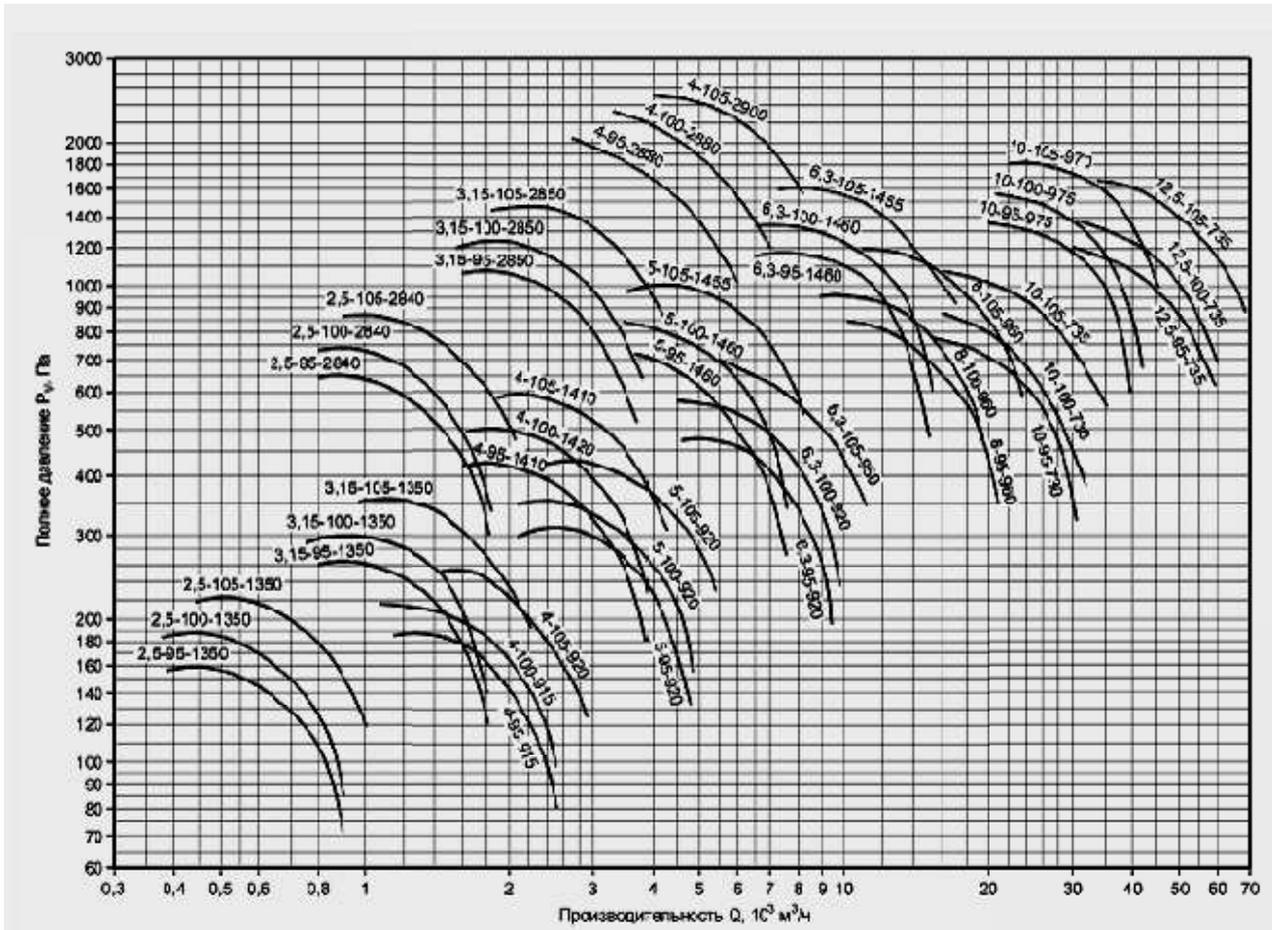
	Пр0°, Л0°			Пр45°, Л45°			Пр90°, Л90°		
	В	б	Н	В	б	Н	В	б	Н
<u>ВР80-75-5</u>	915	389	346	940	357	612	790	454	526
<u>ВР80-75-6,3</u>	1143	487	428	1052	447	760	985	564	656
<u>ВР80-75-8</u>	1448	614	534	1328	564	965	1247	714	836
<u>ВР80-75-10</u>	1919		658	1642	695	1191	1528	888	1044
<u>ВР80-75-12,5</u>	2207		801	2060	880	1490	1908	1107	1294

	Пр135°, Л135°			Пр270°, Л270°			Пр315°, Л315°		
	В	б	Н	В	б	Н	В	б	Н
<u>ВР80-75-5</u>	1032	420	482	790	454	389	1032	420	357
<u>ВР80-75-6,3</u>	1286	526	605	985	564	487	1286	526	447
<u>ВР80-75-8</u>	1629	664	764	1247	714	614	1629	664	564
<u>ВР80-75-10</u>	2012	820	951	-	-	-	2012	820	695
<u>ВР80-75-12,5</u>	2520	1030	1180	-	-	-	2520	1030	880

Для вентиляторов ВР80-75-5÷12,5 положение корпуса Пр180° и Л180° по спец. заказу.

Приложение У

Сводный график характеристик вентиляторов ВР 80-75 (исполнение I)



ЛИТЕРАТУРА

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03.– Мн., 2004.
2. Вентиляторы радиальные общего назначения. Общие технические условия: ГОСТ 5976-90. – Мн.: Госстандарт, 1990.
3. Вентиляторы осевые общего назначения. Общие технические условия: ГОСТ 11442-90. – Мн.: Госстандарт, 1990.
4. Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний: ГОСТ 10921-90. – М., 1990.
5. Гримитлин, А.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры в инженерном оборудовании зданий: учеб. пособие / А. М. Гримитлин, О.П. Иванов, В.А. Пухкал. – СПб.: АВОК Северо-Запад, 2006. – 210 с.: а-ил. – (Учебная библиотека АВОК Северо-Запад).
6. Дячек, П.И. Программа дисциплины, методические указания, задания на контрольные работы и примеры их выполнения для студентов заочной формы обучения специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна». – Мн., БНТУ, 2009.
7. Поляков, В.В. Насосы и вентиляторы : учеб. для вузов по спец. "Теплоснабжение и вентиляция" / В.В. Поляков, Л.С. Скворцов. – М.: Стройиздат, 1990. – 335 с.
8. Калинушкин, М.П. Насосы и вентиляторы: учебн. пособие для вузов по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» – М.: Высш.шк., 1987. – 175 с.
9. Калинушкин, М.П. Вентиляторные установки: учебное пособие для вузов по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» – М.: Высш.шк., 1979. – 223 с
10. Черкасский, В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: учебник для теплоэнерг. спец. Вузов / В.М. Черкасский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. - 416 с.
11. Шерстюк, А.Н. Насосы, вентиляторы, компрессоры: учеб. пособие для энерг. спец. вузов / А.Н. Шерстюк. – М.: Высш. шк., 1972. – 342 с.
12. Официальный сайт Крюковского вентиляторного завода [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.kvz.ru.
13. Каталог вентиляторов радиальных ВР 80-75.

Учебное пособие

Составители:

Сальникова Светлана Рудольфовна

Черников Игорь Анатольевич

ВЕНТИЛЯТОРЫ

Методические рекомендации
по дисциплине **«Насосы и вентиляторы»**
для студентов специальности 1-70 04 02
**«Теплогазоснабжение, вентиляция
и охрана воздушного бассейна»**
дневной и заочной форм обучения

Ответственный за выпуск: Черников И.А.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано к печати 04.02.2014 г. Формат 60x84¹/₁₆. Гарнитура Times New Roman.
Бумага «Снегурочка». Усл. п. л. 2,55. Уч. изд.2,75. Заказ № 51. Тираж 50 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.