

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»
Филиал КузГТУ в г.Белово
кафедра специальных дисциплин

Стационарные установки

Методические указания по выполнению практических работ
для всех форм обучения специальности
20.03.01. «Техносферная безопасность»
специализация
«Безопасность технологических процессов и производств»

Составитель Ещеркин П.В.

Рассмотрены на заседании кафедры
Протокол № 4 от 09.12.2021
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией по
специальности 20.03.01 «Техносферная
безопасность» филиала КузГТУ в г.
Белово
Протокол № 1 от 14.12.2021

БЕЛОВО 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
ПР № 1. Центробежные насосы.	4
ПР № 2. Расчет главной водоотливной установки шахты.	22
ПР № 3. Шахтные центробежные и осевые вентиляторы.	23
ПР № 4. Расчет главной вентиляторной установки главного проветривания.	55
ПР № 5. Шахтные подъемные машины.	56
Список литературы	62
Приложение 1	63

ВВЕДЕНИЕ

Освоение дисциплины направлено на формирование:
профессиональных компетенций:

ПК-10 – владеть способностью и готовностью применять знания основ технологических процессов, работы машин, устройств и оборудования, применяемого сырья и материалов с учетом специфики деятельности работодателя.

Результаты обучения по дисциплине определяются индикаторами достижения компетенций

Индикатор(ы) достижения:

Знает устройство и принцип действия стационарных установок.

Производит перерасчет параметров стационарных машин под заданные условия.

Результаты обучения по дисциплине:

Знает:

- устройство и принцип действия стационарных машин (водоотливных установок, вентиляторных установок, подъемных установок, компрессорных установок);

- характеристику турбомашин (насосов, вентиляторов) и внешних сетей, представлен графически.

Умеет:

- производить выбор стационарных машин и пересчет их параметров для конкретных условий; графически определять рабочие режимы вентиляторных и водоотливных установок;

- проектировать водоотливные (вентиляторные, подъемные, компрессорные) установки и производить выбор насосов (вентиляторов, подъемных машин, компрессоров) для конкретных условий;

- графически определять рабочие режимы водоотливных (вентиляторных) установок в случае отдельной или совместной их работы.

Владеет:

- методикой проектирования стационарных (водоотливных, вентиляторных, подъемных, компрессорных) установок с учетом требований правил безопасности (ПБ) и правил технической эксплуатации (ПТЭ);

- методикой графического определения рабочих режимов вентиляторных и водоотливных установок; методикой пересчета параметров турбомашин на новые.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1 ЦЕНТРАБЕЖНЫЕ НАСОСЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Изучение принципа действия, конструктивной схемы, разновидностей, особенностей и способов повышения надежности и эффективности центробежных насосов типа ЦНС.

ХОД РАБОТЫ:

- Изучить теоретическую часть;
- Сделать краткий конспект;
- Ответить на контрольные вопросы;
- Защитить.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ НАСОСА ТИПА ЦНС

Центробежные секционные насосы (ЦНС) используются для перекачивания различных жидкостей, имеющих свойства, сходные с водой по вязкости и активности, а также химически активных, абразивосодержащих и других жидкостей. Это один из наиболее распространенных типов центробежных насосов, используемых на нефтяных и газовых промыслах для перекачки нефти и воды. Они используются на дожимных насосных станциях (ДНС), центральных пунктах сбора и подготовки нефти и газа (ЦППН), на кустовых насосных станциях (КНС) для закачки воды в продуктивные пласты, в системах водо- и теплоснабжения.

Широкая распространенность насосов объясняется их хорошей адаптацией в технологических процессах с меняющимися со временем потребными напорами в трубопроводах. Секционное исполнение насосов, при размещении в каждой секции одной ступени, позволяет, хотя и ступенчато, но с относительно малыми интервалами, экономично приспособить насос наиболее близко к оптимальному напору. В сравнении, с соизмеримо одинаковыми по техническим показателям одноступенчатыми центробежными насосами, насосы типа ЦНС имеют меньшие диаметральные общие габариты, размеры и массы отдельных узлов и деталей, поэтому они более удобны в обслуживании и ремонте.

Широко распространенные во всех отраслях деятельности человека, в том числе и нефтегазодобывающей промышленности, насосы типа ЦНС являются одной из разновидностей многоступенчатых центробежных насосов. Всё многообразие известных в настоящее время центробежных секционных насосов изготовлены по одной общей конструктивной схеме, представленной на рис. 1.1.

Каждому насосу типа ЦНС свойственны:

- секционный корпус, в каждой секции которого находятся рабочее колесо и направляющий аппарат;
- наличие передней и задней крышек, которыми стянуты секции с помощью стяжных шпилек (на схеме не показаны);
- передняя и задняя крышки выполнены заодно с патрубками соответственно подводящим (всасывающим) и отводящим (напорным);
- горизонтальное расположение вала;
- последовательное расположение рабочих колес с односторонним входом;
- наличие выносных подшипниковых работ;
- наличие двух концевых уплотнений вала;
- наличие устройства для разгрузки осевого усилия.

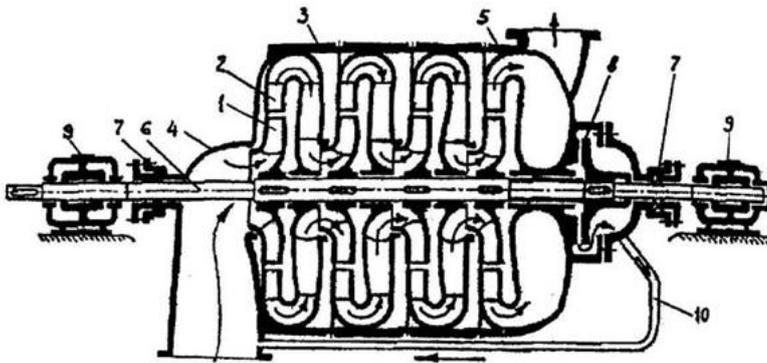


Рис. 1.1 - Конструктивная схема насоса ЦНС:

1 - рабочее колесо; 2 - направляющий аппарат; 3 - корпус секции; 4 - передняя крышка с подводным патрубком; 5 - задняя крышка с отводящим патрубком; 6 - вал насоса; 7 - уплотнения вала; 8 - разгрузочное устройство осевых сил; 9 - подшипники; 10 - трубка перепуска жидкости

Рабочее колесо вместе с направляющим аппаратом называется ступенью насоса, а ступень насоса, заключенная в корпус, вместе с уплотнительными элементами называется секцией насоса.

Принцип работы многоступенчатого центробежного секционного насоса заключается в следующем.

Жидкость через подводный (всасывающий) патрубок на передней крышке 4 (рис. 1.1) проходит в её внутреннюю полость и оттуда поступает в рабочее колесо 1, от лопаток которого получает запас кинетической энергии. Далее жидкость проходит в направляющий аппарат 2 с расширяющимися в сечении каналами, где уменьшается скорость потока и, согласно уравнению Д.Бернулли, происходит преобразование кинетической энергии в энергию потенциальную (скоростной напор переходит в манометрический). После первой ступени жидкость последовательно проходит через вторую, третью и последующие ступени, в каждой из которых происходит увеличение манометрического напора. Для многоступенчатого центробежного насоса развиваемый им напор представляет сумму напоров, развиваемых рабочими колесами.

После последней ступени жидкость попадает в полость задней крышки и оттуда направляется через отводящий патрубок в нагнетательный трубопровод.

Для выравнивания направленных влево осевых сил гидростатического давления, передаваемых рабочими колесами валу, в насосе имеется разгрузочное устройство 8 (гидропятя) в виде разгрузочного диска, посаженного на вал в камере за полостью в задней крышке 5, и подушки (подпятника), установленной в корпусе крышки. Давление жидкости за последней ступенью насоса через щель между защитной рубашкой вала и внутренней поверхностью отверстия в крышке передается разгрузочному диску и создается осевая сила на диск вправо. В зависимости от ширины щели между разгрузочным диском и подпятником изменяется перепад давления перед диском и за ним, в результате чего меняется и уравновешивающая сила. Исходя из этого, в высоконапорных насосах ЦНС ротор установлен на опорах 9 в виде подшипников скольжения, что даст ему возможность перемещаться в осевом направлении и автоматически устранять дисбаланс сил, действующих в разные стороны.

Жидкость, проходящая через щель, отводится по трубке 10 в полость передней крышки 4.

Для герметизации отверстий для вала 6 в передней и задней крышках устанавливаются сальниковые или торцовые уплотнения 7.

2. ДЕТАЛИ И УЗЛЫ НАСОСА

2.1 Рабочее колесо

Рабочее колесо является основным органом насоса, в котором происходит преобразование механической энергии привода в гидравлическую энергию перекачиваемой жидкости.

Проточная часть рабочего колеса определяется гидродинамическим расчетом, а высокие точность изготовления и чистота поверхностей являются важнейшим условием получения требуемых параметров.

Габаритные размеры рабочих колес и их количество являются базой всей конструкции насоса.

В насосах ЦНС применяются литые рабочие колеса закрытого типа, в которых имеются передний и задний диски. В низконапорных насосах передний диск имеет плоскую внешнюю поверхность (рис. 2.1), а в высоконапорных - на наружной поверхности диска выполняется кольцевой буртик (рис. 2.2) для создания лабиринтного уплотнения.

Рабочие колеса многоступенчатых насосов изготавливаются с удлиненной ступицей, что дает возможность избежать применения дистанционных втулок в конструкции ротора. Ступица отливается совместно с рабочим колесом либо приваривается к нему. Для уменьшения перетоков перекачиваемой жидкости по валу шпоночный паз 5 (рис. 2.2) в ступице рабочего колеса выполняется не на всю длину.

Неперпендикулярность торцов ступицы рабочего колеса не должна превышать 0,01—0,02 мм.

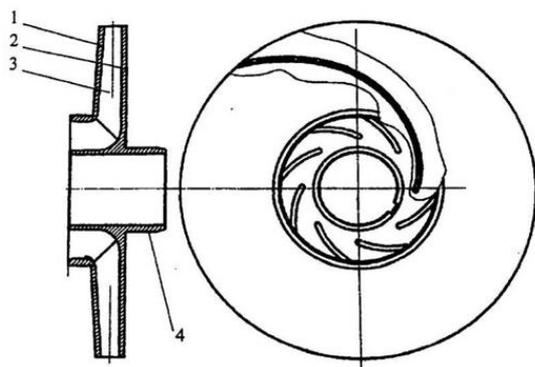


Рис. 2.1 - Закрытое рабочее колесо с плоской наружной поверхностью переднего диска:

1 - передний диск; 2 - задний диск; 3 - лопатка; 4 - ступица

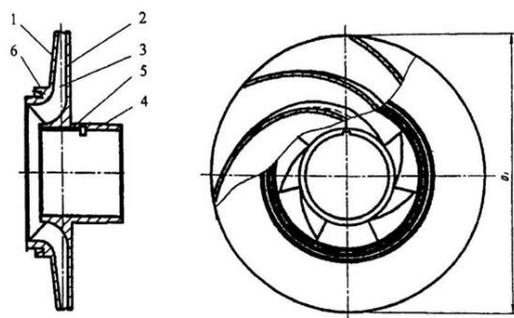


Рис. 2.2 - Закрытое рабочее колесо с кольцевым буртиком на наружной поверхности переднего диска:

1 - передний диск; 2 - задний диск; 3 - лопатка; 4 - ступица колеса; 5 шпоночный паз; 6 - кольцевой буртик

Чистота водопроводящих каналов рабочего колеса оказывает большое влияние на величину гидравлических потерь. Экспериментально проверено, что уменьшение шероховатости каналов рабочих колес с Ra12,5 до Ra3,2, без каких-либо конструктивных изменений, приводит к повышению к. п. д. насоса на 3-4%. Повышение чистоты поверхности криволинейных каналов рабочих колес осуществляется либо слесарной обработкой изогнутыми напильниками, пневматическими машинками с гибким валом либо гидроабразивной обработкой. В последние годы на базах по ремонту оборудования нашло широкое применение покрытие поверхностей рабочих колес полимерными материалами. Такое покрытие не только уменьшает гидравлические потери мощности насоса, но является защитной от абразивного износа и от влияния химически активной среды. Ориентировочные значения допустимых отклонений размеров рабочих колес не должны превышать следующих значений [5]:

Размер	Допустимые отклонения в долях наружного диаметра колеса
Наружный диаметр	0,002 - 0,004
Диаметр входного отверстия	0,005 - 0,010
Диаметр ступицы	0,005 - 0,010
Ширина на входе	0,001 - 0,002
Шаг лопасти на входе	0,003 - 0,005
Шаг лопасти на выходе	0,005 - 0,008
Толщина лопасти	0,002 - 0,003

Механические свойства материала рабочих колес должны обеспечивать требуемую прочность рабочего колеса с учетом температурных напряжений. Коэффициенты линейного расширения материалов сопрягаемых деталей должны быть приблизительно одинаковыми.

Не менее важной характеристикой рабочих колес является стойкость их материала против коррозии в перекачиваемой жидкости. Для определения коррозионных свойств воды используют показатель рН, характеризующий концентрацию ионов водорода. С повышением температуры воды показатель рН уменьшается.

Перекачиваемая жидкость движется в каналах рабочего колеса с высокими скоростями. Поэтому материал колес должен обладать хорошей стойкостью против эрозии.

Наиболее часто рабочие колеса высоконапорных насосов изготавливаются из нержавеющей стали 20Х1 3Л, углеродистой стали 25Л и чугунов марки СЧ18-36. Из бронзы чаще всего встречаются марки Бр.ОЦ 10-2, Бр.ОФ 10-1 и Бр.АДН 10-4-4.

2.2. Направляющий аппарат

Направляющие аппараты в многоступенчатом насосе (отводы) обеспечивают осесимметричный поток жидкости за рабочим колесом, создавая тем самым условия для установившегося относительного движения в области колеса, уменьшают скорость жидкости и преобразуют кинетическую энергию потока, выходящего из колеса, в энергию потенциальную с отводом потока в следующую ступень или к выходному патрубку.

В отечественной практике в насосах ЦНС применяются направляющие аппараты, в которых обратные подводящие каналы разъединены с каналами отвода безлопаточным кольцевым пространством (рис. 2.3).

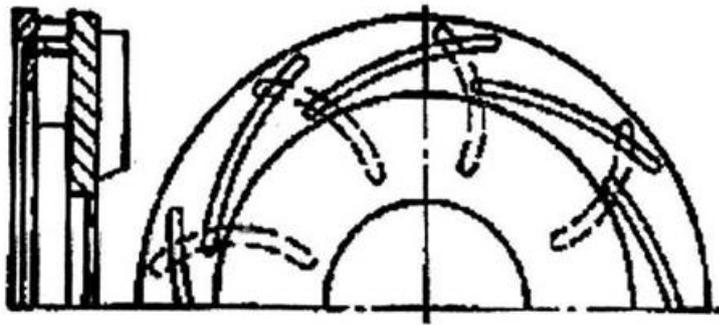


Рис. 2.3 - Направляющий аппарат с безлопаточным кольцевым пространством (приварной диск условно снят)

В направляющем аппарате (рис.2.3) периферийная часть лопаточного диффузора переходит в кольцевое колено, в котором поток изменяет свое направление в меридианной плоскости и переходит в каналы лопаточного подвода.

Лопатки диффузорной и подводящей частей отвода выполняются профилированными.

Решетка подводящих каналов работает в сочетании с решеткой диффузорной части и профилируется в соответствии с направлением набегающего потока. Выходные кромки решетки подвода должны обеспечивать расчетную входную циркуляцию на входе в рабочее колесо следующей ступени.

Отвод с кольцевым безлопаточным диффузором (кольцевой отвод), представляет собой плоский радиальный кольцевой канал за рабочим колесом, периферийная часть которого переходит в кольцевое колено, где поток поворачивается в меридианной плоскости ступени насоса. Из кольцевого колена поток попадает на решетку подвода.

Реже применяются направляющие аппараты, в которых каналы диффузорных отводов выполнены в одной детали (рис. 2.4), а обратные подводящие каналы расположены в другой сопрягаемой детали.

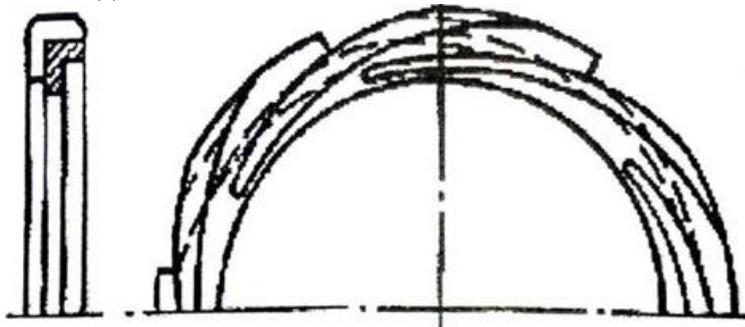


Рис. 2.4 - Направляющий аппарат с отдельными отводящей и подводящей деталями (отводящая часть)

Более совершенной конструкцией и наиболее распространенной в насосах типа ЦНС является направляющий аппарат лопаточного (канального) типа (рис. 2.5), в котором диффузорные отводящие каналы соединены переводными непосредственно с обратными подводящими каналами. В отличие от предыдущего направляющего аппарата данная конструкция выполняется в виде одной литой детали.

В секции насоса направляющий аппарат установлен наружной цилиндрической поверхностью по напряженной или плотной посадке и для предотвращения от возможного проворачивания зафиксирован специальным штифтом или винтом. Во внутренней расточке аппарата устанавливается уплотняющее кольцо 3 (рис. 2.6) межступенчатого уплотнения.

Доля потерь энергии в каналах направляющего аппарата достигает 20-25% от общих потерь в насосе. Это накладывает повышенные требования к точности и чистоте обработки проточной полости направляющего аппарата. Диффузорные отводящие каналы обрабатывают механически, переводные и обратные подводящие каналы зачищают вручную или подвергают электрохимической (электроискровой) обработке. Для предотвращения перетоков жидкости торцовые поверхности аппарата должны быть строго параллельны друг другу и

перпендикулярны к оси.

Направляющие аппараты изготавливаются из серого чугуна, углеродистой или легированной стали в зависимости от свойств перекачиваемой жидкости и скорости потока, а также из пластмассы или стекловолокна.

На рис. 2.6 показаны в сечении рабочее колесо и направляющий аппарат с уплотнительным кольцом, и ступень в сборе.

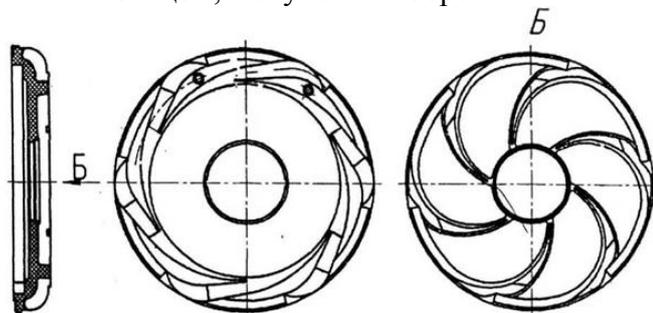


Рис. 2.5 - Лопаточный (канальный) отвод

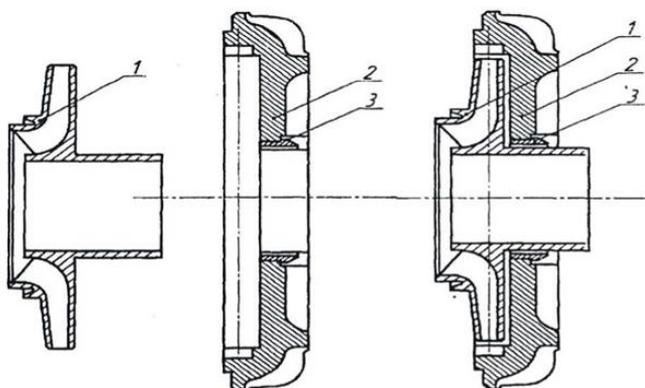


Рис. 2.6 - Элементы ступени и ступень в сборе 1 - рабочее колесо; 2 - направляющий аппарат; 3 – уплотнительное кольцо

2.3. Секция насоса

Ступень насоса, помещенная в отдельный корпус, вместе с уплотнительными элементами составляет секцию насоса. На рисунке 2.8 показаны отдельные составляющие секцию элементы и секция насоса в сборе.

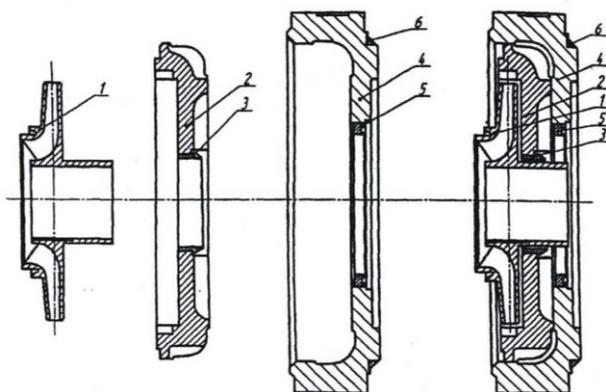


Рис. 2.7 - Элементы секции насоса и секция насоса в сборе:

1 - рабочее колесо; 2 - направляющий аппарат; 3 - уплотнительное кольцо межступенчатое; 4 - корпус секции; 5 - кольцо уплотнения рабочего колеса; 6 - уплотнительное кольцо стыков корпусов секций

Корпус секции является составной частью корпуса насоса ЦНС. Он представляет собой литую, ковannую или цилиндрическую оболочку со стенкой, выполненную из серого чугуна при давлении до 5МПа или углеродистой или хромистой стали при давлениях свыше 5МПа.

Корпуса секций между собой центрируются на цилиндрических заточках.

Конструкции стыков корпусов секций должны предупреждать возможность раскрытия их при действии внутреннего давления. Наиболее простым является соединение с внешней заточкой (рис. 2,8,а). Соединение с «зубом» (рис. 2.8,б) более устойчиво к раскрытию стыка, однако выполнение его затруднительно. При высоких давлениях в некоторых случаях применяют соединение с внутренней заточкой (рис. 2.8.в). Для уменьшения расцентровки секций при сборках и разборках насоса соединение их производится обычно по напряженной посадке.

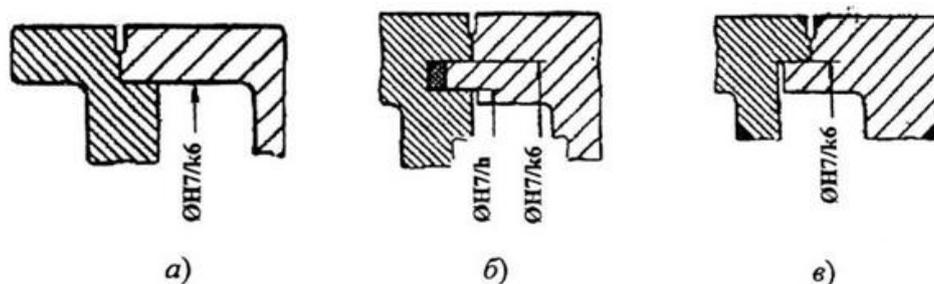


Рис. 2.8 - Конструкции стыков корпусов секций насоса

При уплотнении стыков секций за счет металлического контакта уплотняющие пояски должны быть строго перпендикулярными к оси насоса и иметь чистоту поверхности Ra06,3—Ra0,32, которая, как правило, достигается притиркой специальными притирами вручную или на станках. Необходимое уплотняющее усилие создается стяжными шпильками.

Корпуса отдельных секций по мере последовательного прохождения через них жидкости находятся под нарастающим внутренним давлением жидкости, однако по технологическим соображениям они выполняются с одинаковой толщиной стенок.

С целью экономии высококачественного материала иногда для высоконапорных насосов применяют бандажирование секций. Секция изготавливается из высококачественного материала с относительно небольшой толщиной стенки, поверх корпуса секции насаживается бандаж из углеродистой стали.

Для облегчения сборки насоса в корпусах секций иногда предусматриваются монтажные лапы.

2.4 Корпус насоса

Корпус насоса ЦНС (рис. 2.9) представляет собой набор корпусов секций 1, крышек передней (всасывания) 2 и задней (нагнетания) 3, соединенных между собой стяжными шпильками 4.

Крышки являются базовыми деталями насоса.

В крышках выполнены соответственно приемный и напорный патрубки. Совместно с крышками отлиты опорные лапы, которыми насос фиксируется на фундаментной плите, и к крышкам крепятся корытообразные кронштейны для подшипников. К крышкам на шпильках подсоединяются корпуса концевых уплотнений.

В выходной крышке часто располагается разгрузочное устройство.

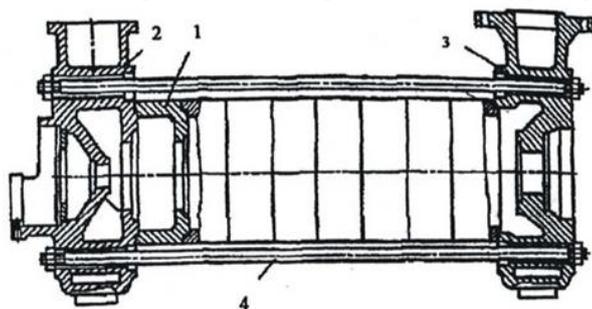


Рис. 2.9 - Корпус насоса ЦНС

Секции крышки центрируются на цилиндрических заточках. Уплотнение стыков может

осуществляться либо за счет металлического контакта уплотняющих поясков, либо при помощи специальных уплотнительных устройств. Чаще всего применяются уплотнительные кольца из круглого резинового шнура.

Крышки насоса изготавливаются либо литыми, либо сварно-литыми. Материал крышек выбирается в зависимости от внутреннего давления. (ля давлений до 100 кгс/см крышки могут быть отлиты из серого чугуна, ля более высоких давлений - из углеродистой или малолегированной стали. В местах уплотнений секций на крышках может быть предусмотрена наплавка нержавеющей электродом для предупреждения размыва при возникновении неплотности в стыке.

Стяжные шпильки являются одним из наиболее нагруженных деталей насоса. Изготавливают их обычно, из проката стали 40 или 45. Сильно нагруженные шпильки можно изготавливать из стали 40Х или других легированных сталей (например, 30ХМА). Коэффициент линейного расширения материала шпильки должен быть примерно равен коэффициенту линейного расширения материала корпуса. На шпильке рекомендуется предусмотреть направляющий поясок перед резьбой или среднюю часть ее выполнить большего диаметра по сравнению с диаметром резьбы. Это предотвращает повреждения резьбы при затяжке длинных шпилек. Утолщенная средняя часть уменьшает также возможность скручивания шпильки при затяжке. Изготавливать шпильки из проката без проточки поверху не допускается.

2.5 Ротор насоса

Ротор многоступенчатого насоса представляет собой отдельный комплектный узел, состоящий из вала 1, рабочих колес 2 со шпонками 3,

защитных втулок 4, разгрузочного диска 5, отражательных колец 6, полумуфты 7 и других мелких деталей, закрепленных на валу (рис. 2.10).

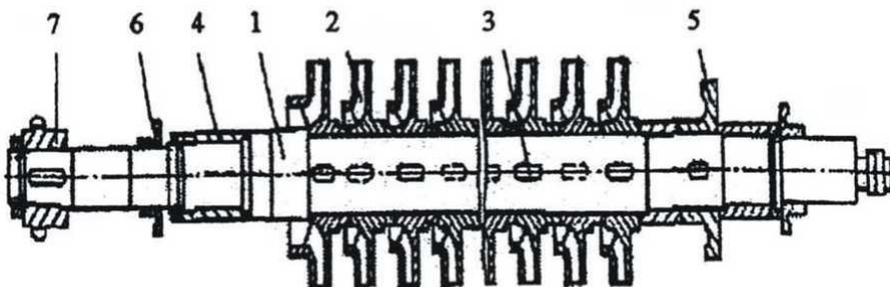


Рис. 2.10 – Ротор

От правильного выбора конструкции и технологии изготовления ротора и отдельных его деталей в значительной степени зависит надежная работа насоса.

Базовой деталью ротора является вал 1 (рис. 2.10), на который посажены все вращающиеся детали насоса. Назначение вала - передать вращение рабочим колесам.

При работе насоса на его вал действует знакопеременная нагрузка. Максимальный диаметр его находится в месте посадки рабочих колес, дальше к обоим концам ступенчато уменьшается для установки втулок и других деталей ротора. Посадочные размеры вала выполнены по второму- третьему классу точности. Уступ для упора рабочих колес должен быть выполнен строго перпендикулярно оси насоса. Оси шпоночных пазов должны лежать в плоскости, проходящей через ось вала. В многоступенчатых насосах шпоночные пазы 3 (рис. 2.10) располагаются поочередно с обеих сторон вала для уменьшения дисбаланса ротора.

Шейки вала под подшипники скольжения подвергают поверхностной закалке. Для их обработки применяют доводочные операции: наружное хонингование или суперфинишную обработку.

В качестве заготовок для валов применяют прокат или поковку. Заготовки валов крупных насосов должны проходить дефектоскопию для выявления скрытых дефектов.

Вал насоса должен иметь достаточную прочность и жесткость, при которых гарантируется отсутствие недопустимых деформаций, нарушающих устойчивую работу ротора. Для высокооборотных многоступенчатых насосов жесткость является определяющим параметром при выборе размера вала.

Для изготовления валов насосов, перекачивающих холодную воду, можно рекомендовать сталь 40, 45 или 40Х. Валы насосов, перекачивающих агрессивные жидкости, можно изготавливать из обычных материалов. Однако в этом случае надо предусмотреть надежную защиту вала втулками.

Рабочие колеса 2 (рис. 2.10), описанные в п. 2.1, посажены на вал по подвижной посадке. Рабочее колесо первой ступени имеет расширенную входную воронку, остальные колеса - одинаковую по размерам проточную часть.

При работе насоса через торцы ступиц рабочих колес на вал передается осевое усилие, достигающие десятков тонн. При неперпендикулярности торцов под действием осевого усилия вал может быть дополнительно изогнут, что может привести к разбалансировке ротора. Поэтому при сборке рабочих колес проверяется

перпендикулярность 0,01—0,02 мм при чистоте поверхности Ra0,63— Ra0,32. За счет плотного прилегания торцов исключается возможность перетока перекачиваемой жидкости.

Если рабочие колеса изготавливаются с короткими ступицами, то при сборке ротора между ними устанавливаются дистанционные втулки.

Рабочие колеса перед установкой балансируют статически на роликах или призмах либо в динамическом режиме на балансировочных станках. Дисбаланс устраняется снятием металла с наружных поверхностей дисков по периферии рабочего колеса. Пакет рабочих колес стягивается роторной гайкой.

Основное назначение втулок в комплекте ротора - предохранять вал от коррозии, эрозии и износа. Существует большое разнообразие втулок по назначению и конструктивным признакам. Наиболее ответственными являются втулки 4 вала (рис. 2.10) в зоне концевых уплотнений насоса. В зависимости от типа уплотнения меняется и назначение втулок.

Защитные втулки обычно устанавливают на вал по подвижной посадке. Для фиксации втулок круглыми гайками в осевом направлении на валу выполняют участки с резьбовой нарезкой.

При мягких сальниковых уплотнениях втулки служат для предупреждения износа вала набивкой. Выполняют такие втулки с гладкой цилиндрической поверхностью, имеющей шероховатость Ra1,25-0,63. Для повышения износостойкости втулок рабочая поверхность их должна иметь высокую твердость.

Втулки вала под концевыми уплотнениями щелевого типа служат для создания дросселирующей щели. Наружная цилиндрическая поверхность втулок может быть либо гладкая, либо с кольцевыми канавками для увеличения сопротивления щели. Рекомендуемые размеры канавок 1,6x1,6 мм с шагом 3,2мм.

Втулки на валу обычно фиксируются шпонками. Для предотвращения протечек жидкости под втулкой предусматривают специальные уплотнения. Если конструкцией ротора предусматривается передача осевого усилия через втулку, то размеры контактирующего стыка надо выбирать таким образом, чтобы предотвратить смятие торца втулки. Размеры собственно втулки выбирают из условий обеспечения ее жесткости при действии полного осевого усилия ротора.

Материал втулок выбирают в зависимости от их назначения. Хорошую износостойкость имеют втулки из термообработанной нержавеющей стали. Для повышения износостойкости втулок из обычных материалов применяют поверхностную металлизацию (азотирование, борирование и т. д.), упрочнение (накатка роликом и др.) или наплавку твердым сплавом (стеллит, сормайт).

Разгрузочный диск 5 (рис.2.10), являющийся частью ротора и одновременно главной деталью узла разгрузки насоса, служит для восприятия осевого усилия ротора.

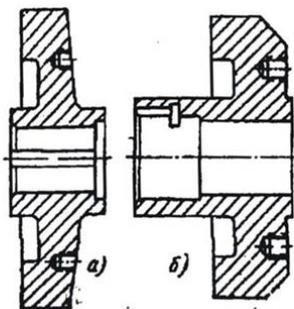


Рис. 2.11 - Разгрузочные диски

Различают две разновидности дисков: собственно разгрузочный диск (рис. 2.11, а) и разгрузочный диск с цилиндрической втулкой (рис. 2.11, б).

Разгрузочный диск имеет собственный упор на валу, к которому прижимается гайкой. Для предотвращения перетока жидкости под диском на внешнем торце его предусматривается специальное уплотнение. С той же целью шпоночный паз в диске обычно выполняют обычно не на всю длину ступицы. В канавках для выхода долбяка должны быть предусмотрены необходимые радиусы закруглений, так как наличие острых углов вызывает появление усталостных трещин и полное разрушение диска.

Рабочая торцовая поверхность диска должна быть строго перпендикулярна оси. Допустимая неперпендикулярность 0,02...0,03 мм, а чистота поверхности Ra0,63-Ra0,32.

Рабочая поверхность подвергается термообработке, твердость должна быть не менее чем на 50 единиц по Бринеллю (НВ) больше твердости рабочей поверхности подушки пяты в корпусе насоса для уменьшения возможности задиранья при металлическом контакте этих деталей в процессе работы.

Наиболее распространенным материалом для изготовления разгрузочного диска является сталь 20X13, подушки к нему - сталь 30X13.

Разгрузочный диск устанавливают на вал по подвижной посадке и фиксируют шпонкой. С наружной стороны диска выполнено два резьбовых отверстия с резьбой для крепления съемника.

Перед сборкой ротора разгрузочный диск рекомендуется статически отбалансировать.

При работе на диск действует пульсирующая нагрузка из-за пульсации давления в торцевой щели и вращения диска.

В настоящее время существует много вариантов модернизации разгрузочных дисков с целью увеличения сроков их службы и уменьшения утечек через дросселирующую щель. Так, например, в торце, со стороны подушки диска во внутренней проточке устанавливаются кольца из композитных порошковых материалов по твердости сравнимой с твердостью алмаза (карбид кремния). Это позволяет значительно сократить число замен дисков в результате их износа.

Полумуфта 7 (рис. 2.10), входящая в состав ротора, является частью соединительной муфты между валом насоса и валом электродвигателя. В насосах ЦНС наибольшее распространение получили два типа соединительных муфт (рис. 2.12): упруго-пальцевые и зубчатые. Указанные типы соединительных муфт обладают важным для эксплуатации качеством - в известных пределах допускают расцентровку соединяемых валов. Кроме того, они допускают осевое перемещение одного из валов, что особенно важно для насосов ЦНС с плавающими роторами.

Упруго-пальцевые муфты (рис. 2.12, а) состоят из двух полумуфт, насаживаемых на спариваемые валы. В одной из полумуфт крепятся пальцы с эластичными буферами. Буфера изготавливаются из набора резиновых колец или в виде цельной резиновой втулки. Резиновые буфера устанавливаются в отверстия другой полумуфты.

Между торцами полумуфты имеется зазор а, который выбирается в зависимости от величины возможных осевых перемещений валов.

Полумуфты фиксируются на валу шпонками. В осевом направлении полумуфты могут быть зафиксированы гайками.

Буфера имеют возможность скользить в отверстиях полумуфты, благодаря чему гасятся небольшие продольные колебания полумуфты. Погрешность центрования в определенных пределах компенсируется эластичностью буферов.

Упруго-пальцевые муфты в насосах, как правило, применяются для мощности до 500 кВт. Для соединения валов крупных насосов применяются зубчатые муфты. Зубчатые муфты применяются также для малых мощностей, когда применение упруго-пальцевой муфты нежелательно (например, для нефтяных насосов).

Зубчатая муфта (рис. 2.12, б) состоит из двух зубчатых втулок, насаженных на валы, и двух зубчатых обойм. Обойма и втулка соединяются между собой внутренним цилиндрическим зубчатым зацеплением с нормальным модулем. Геометрические размеры муфт выбираются по ГОСТу 5006-55. Обе обоймы соединяются болтами. С торцов обоймы закрываются крышками с уплотнением.

Вращение от одного вала к другому передается через зубчатые зацепления, которые допускают небольшие радиальные и осевые перемещения обойм. Для предотвращения защемления зубной пары внутренняя полость муфты заполняется консистентной смазкой.

В крупных насосных агрегатах иногда для возможности снятия полумуфт без демонтажа насоса между торцами валов выдерживается определенное расстояние l . В этом случае применяются муфты с

удлиненными обоймами (рис. 2.12, в) или между обоймами устанавливается промежуточная втулка (рис. 2.12, г).

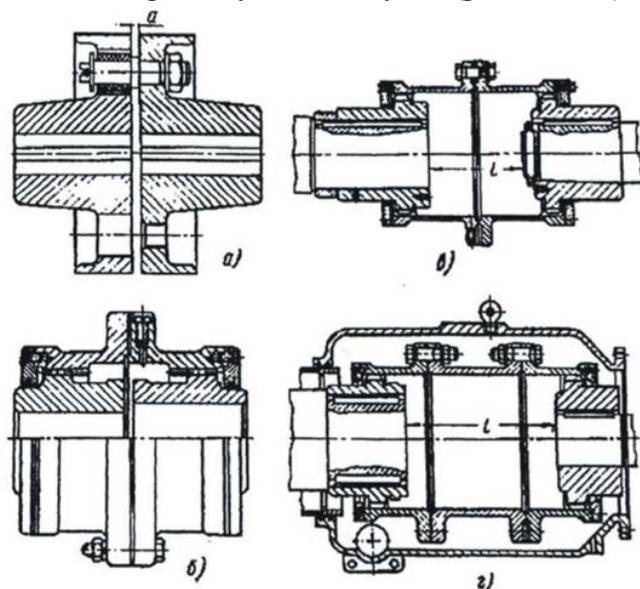


Рис. 2.12 - Типы муфт

Зубчатые муфты обычно балансируются динамически. В связи с этим должны быть обозначены взаимное положение деталей муфты и нумерация болтов по отверстиям.

Соединительные муфты в насосном агрегате закрываются защитным кожухом. Если зубчатая муфта смазывается жидкой смазкой, в этом случае предусматривается специальный защитный кожух, который крепится к подшипнику насоса (рис. 2.12, г). Слив масла из кожуха осуществляется по сливной трубе.

Основным критерием для выбора соединительной муфты является передаваемый крутящий момент. В последнее время в насосных агрегатах применяют упруго-пластинчатые муфты.

В ряде насосных агрегатов валы привода и насоса соединяют с помощью гидравлических или электромагнитных муфт. Эти муфты являются сложными самостоятельными агрегатами, предназначенными, главным образом, не для создания соединяющего усилия между насосами и приводом, а для плавного изменения частоты вращения насоса при неизменной частоте вращения электродвигателя, плавного пуска и остановки насоса и т.п.

В целом, собранный ротор представляет собой массивный и крупногабаритный узел,

поэтому к нему предъявляются жесткие требования по соблюдению баланса вращающихся масс.

Отсутствие вибрации в насосе из-за неуравновешенности ротора при его вращении является одним из основных условий нормальной работы насоса. Выполнение этого требования осуществляется за счет тщательной статической балансировки отдельных деталей ротора и динамической балансировки собранного ротора. Динамическая балансировка ротора производится на специальных станках, обычно при пониженной скорости вращения. При этом может оказаться, что отбалансированный ротор при работе с более высоким числом оборотов из-за возникновения дополнительных динамических прогибов может оказаться разбалансированным. В связи с этим роторы крупных многоступенчатых насосов рекомендуется балансировать при числе оборотов, близком к рабочему, иногда в собственных опорах на месте эксплуатации. Допустимая центробежная сила от неуравновешенного ротора не должна превышать 1-2% веса ротора.

Наиболее благоприятные условия для обеспечения уравновешенности создает так называемая неразборная конструкция ротора, при которой рабочие колеса посажены на вал с натягом. Тип посадки зависит от числа оборотов и температуры перекачиваемой жидкости и выбирается с таким расчетом, чтобы при работе не образовался зазор между валом и ступицей рабочего колеса под действием центробежных сил и температурного расширения. Сборка и разборка такого ротора, как правило, производится с подогревом рабочих колес. Вал ротора имеет ступенчатое уменьшение диаметров посадочных поверхностей под колеса.

Неразборный ротор усложняет конструкцию, сборку и разборку многоступенчатого насоса. Поэтому он нашел распространение в насосах с числом оборотов более 3000 в минуту. При меньших оборотах преобладающее распространение получил разборный ротор, в котором рабочие колеса посажены на вал по скользящей или плотной посадке (рис. 2.10).

В собранном роторе должно быть проверено биение рабочих поверхностей, которые не должны превышать следующих величин в мм:

Уплотнения рабочих колес	0,05-0,08
Межступенные уплотнения	0,06-0,09
Втулки концевых уплотнений	0,03-0,04
Торцовая поверхность разгрузочного диска	0,02
Шейки вала под подшипники	0,01-0,02

Биение проверяется при отпущенных и затянутых гайках ротора. Изменение величины биения свидетельствует о неправильно выполненных торцах деталей.

Изготовление роторов высокооборотных насосов требует большой точности и тщательности. Однако применение высоких чисел оборотов приводит к уменьшению диаметра рабочих колес и числа ступеней, что не только способствует повышению надежности работы насоса, но и облегчает обработку ротора.

2.6. Уплотнения рабочих колес и межсекционные уплотнения

Каждая секция (ступень) насоса ЦНС имеет в своем составе два уплотнения: переднее уплотнение рабочего колеса и межсекционное уплотнение. На рис. 2.13 показаны места уплотнений, отделяющие внутренние полости насоса с разными давлениями жидкости.

В корпусных деталях насоса устанавливаются неподвижные уплотнительные кольца. Между уплотнительными поясками рабочих колес и кольцами образуется кольцевая щель, в которой происходит дросселирование давления протекающей жидкости. Уплотнительные кольца, как правило, винтами крепятся к корпусным деталям. При этом принимаются меры к предотвращению самоотвинчивания винтов в процессе работы. Во избежание изгиба фланца уплотняющего кольца по внешнему его диаметру выполняется упорный бурт шириной 2-4 мм.

Если уплотнительные кольца устанавливаются без крепления винтами, то вместо фланца выполняется небольшой буртик. Кольцо устанавливается в корпусе по неподвижной посадке и фиксируется

винтами от проворачивания. Аналогичным образом устанавливаются кольца межсекционных уплотнений.

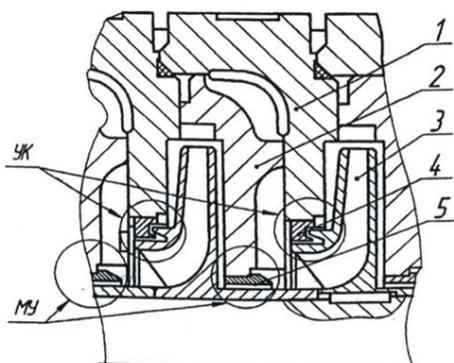


Рис. 2.13 - Межсекционные уплотнения и уплотнения рабочих колес: 1- корпус секции; 2 - направляющий аппарат; 3 - рабочее колесо; 4,5 - кольца уплотнительные; УК - уплотнение рабочего колеса; МУ – межсекционное уплотнение.

Длина щели в уплотнениях зависит от ряда факторов: геометрии проточной части ступени, межступенного расстояния, технологических возможностей изготовления и т.д. Встречающиеся варианты щелевых уплотнений рабочих колес показаны на рис. 2.14, а межсекционных уплотнений - на рис.2.15 (обозначения соответственно рис. 2.13).

В насосах высокого давления для уменьшения объемных потерь приходится более сложные конструкции уплотнений.

Однощелевое уплотнение с козырьком (рис. 2.14, б) повышает коэффициент сопротивления щели и обеспечивает меньшее возмущение основному потоку на входе в рабочее колесо. Более благоприятные условия для основного потока обеспечивает уплотнение с наклонным козырьком (рис. 2.14, в).

Двухщелевое уплотнение с внезапным расширением щели (рис. 2.14, г) примерно на 20-30% снижает протечки по сравнению с однощелевым уплотнением.

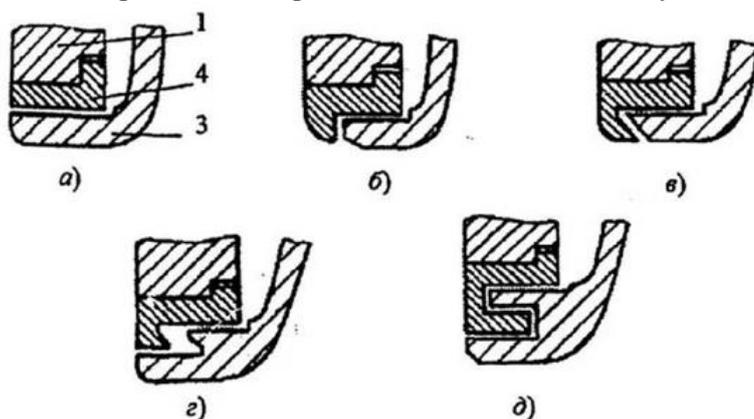


Рис. 2.14 - Конструктивные схемы уплотнений рабочих колес: 1-копус секции; 3 - рабочее колесо; 4 - уплотнительное кольцо

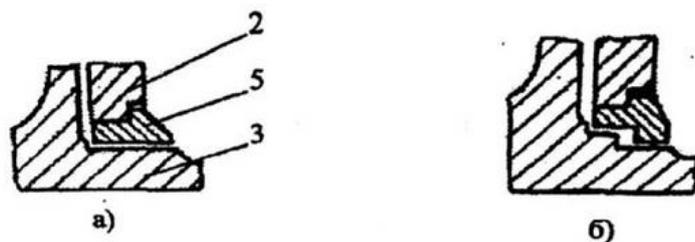


Рис. 2.15 - Конструктивные схемы межсекционных уплотнений:

2 - направляющий аппарат; 3 - рабочее колесо; 5 - уплотнительное кольцо Наиболее простым является однощелевое уплотнение (рис. 2.14, а).

Несмотря на более высокую сложность изготовления, в насосах широко применяются трехщелевые уплотнения (рис. 2.14, д), которые обеспечивают более высокий коэффициент сопротивления. Однако трехщелевые уплотнения при определенных условиях могут служить источником дополнительной вибрации ротора вследствие возникновения значительных гидродинамических сил в щелях уплотнений. В таких случаях для уменьшения вибрации рекомендуется увеличить радиальный размер средней щели до 0,75-1,0 мм.

Межсекционные уплотнения, как и межступенные, в многоступенчатых насосах, за редким исключением, выполняются либо однощелевыми (рис. 2.15, а), либо двухщелевыми с уступом (рис. 2.15, б).

Материал уплотнительных колец должен обладать хорошей эррозионной и коррозионной стойкостью и стойкостью против задирания в паре с материалом рабочего колеса при соприкосновении вращающихся и неподвижных деталей или попадании в щель металлических включений.

Для чугунных и стальных рабочих колес уплотнительные кольца могут быть изготовлены из чугуна СЧ 18-36. Для рабочих колес из стали 20Х13 уплотнительные кольца часто изготавливаются из

термообработанной стали 30Х13. Разность твердости сопрягаемых деталей должна быть порядка НВ 50.

Уплотнительные кольца из стали 1Х18Н9Т имеют хорошую эррозионную стойкость, но плохо сопротивляются задиранию. Бронзовые кольца, наоборот, при хорошей сопротивляемости задиранию имеют малую долговечность при работе из-за эррозионного размыва. Хорошо сопротивляется задиранию сталь Х17Н2 при достаточно высокой долговечности. Для повышения эррозионной стойкости уплотнительных колец из углеродистой и нержавеющей сталей хороший эффект дает сульфидирование их жидким или твердым способом.

Чугунные уплотнительные кольца изготавливаются также из низколегированного хромом чугуна с шаровидным графитом, который обладает большей кавитационно-эррозионной стойкостью, чем обычный серый чугун.

2.7. Уплотнения вала

В насосах ЦНС с гидравлической разгрузкой осевого усилия уплотнения вала насоса в местах выхода их из корпуса работают при одинаковых давлениях, что дает возможность выполнить их с обеих сторон насоса одинаковыми. Уплотнения предотвращают утечки перекачиваемой жидкости из насоса, не допускают попадания воздуха в насос при работе последнего с разрежением на входе. Они обеспечивают герметизацию вала при перекачивании взрыво- и пожароопасных жидкостей.

Выпускаемые промышленностью насосы ЦНС рассчитаны на работу как с сальниковыми, так и с торцовыми уплотнениями вала. Сальниковые уплотнения выполняются по классическим схемам, показанным на рис. 2.16.

Гидрозатвор с подводом к нему воды под давлением применяют обычно для уплотнения вала со стороны всасывания с целью предотвращения проникновения воздуха в насос, работающий без подпора. Подвод воды к гидрозатвору производится через специальный канал из всасывающей полости в передней крышке насоса.

В нефтяных насосах гидрозатвор может применяться также для уплотнения вала и со стороны нагнетания для предотвращения утечек нефти наружу.

Тип сальниковой набивки определяется условиями работы уплотнений. Для холодной воды (температура до 80 ° С) применяются хлопчатобумажные шнуры, пропитанные техническими маслами или графитом (АГ). Однако графитовая пропитка в паре с перекачиваемой водой может вызвать электролитическую коррозию.

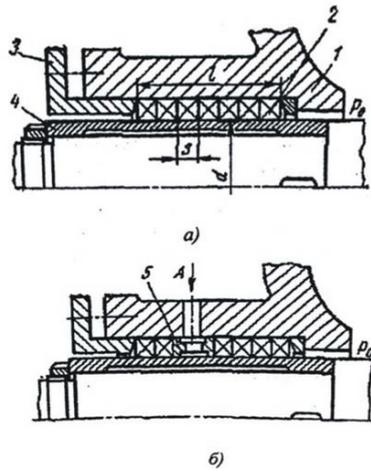


Рис. 2.16 - Схемы сальниковых уплотнений:

1-копрус сальника; 2 - сальниковая набивка; 3 - нажимная втулка; 4 - защитная втулка вала; 5 - гидрозатвор; А - подвод запирающей воды

Для насосов, перекачивающих горячие нефтепродукты, применяются сальниковые кольца из алюминиевой фольги с мягким сердечником или спрессованной фольги без сердечника. Широко применяются сальниковые кольца из асбеста, пропитанного при плетении суспензией фторопласта, и наполнителей - талька или дисульфида молибдена.

Пропитка сальниковой набивки при работе образует смазывающую пленку, которая уменьшает износ втулки и сальниковых колец. Содержание пропитки не должно превышать 30% веса набивки, так как в противном случае снижается ее работоспособность. В процессе работы графитированных набивок частицы графита проникают в мельчайшие поры и неровности втулки, образуя на поверхности тонкий слой графита, который уменьшает коэффициент трения. Графит сохраняет свои смазывающие свойства в диапазоне температур от 40 до 540 ° С.

Набивка обычно производится отдельными кольцами со смещением разрезов на 90 °. Шнур набивки в несложном приспособлении разрезается на отрезки, обеспечивающие полный охват втулки вала. Кольца набивки для уплотнений, работающих при высоких давлениях и температуре, перед установкой рекомендуется предварительно обжарить. Число колец для равномерного распределения напряжений рекомендуется принимать не более четырех.

Сальниковое уплотнение может быть выполнено и в виде пакета набивки. Разрезанные и спрессованные кольца сшиваются вместе в пакет. Сшивать можно как на валу, так и на специально изготовленной втулке. После установки пакет нажимной втулкой сильно сжимается и выдерживается в течение 20-30 мин. Затем втулка отпускается и без перекосов подтягивается вручную.

После обкатки насосов с сальниковыми уплотнениями насосы ЦНС можно перевести на эксплуатацию с торцовыми уплотнениями.

В насосах ЦНС используются одинарные гидравлически разгруженные торцовые уплотнения с подвижной аксиальной втулкой, работающие по схеме, представленной на рис. 2.17.

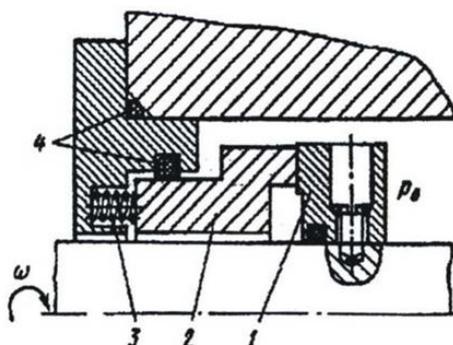


Рис. 2.17 - Схема торцового уплотнения

В разгруженные уплотнения, когда коэффициент уравнивания меньше единицы, между контактирующими поверхностями образуется жидкостная пленка толщиной 1-7 мкм. При такой пленке трение существенно отличается от гидродинамического и приближается к граничному трению, т.е. трению граничных слоев адсорбированных молекул жидкости. Этим объясняется то, что даже при наличии жидкостной пленки обеспечивается герметичность уплотнения.

Уплотнение (рис. 2.17) осуществляется между невращающейся втулкой 2 и вращающимся кольцом 1, торцовые поверхности которых прижимаются одна к другой пружиной (пружинами) 3. Вращающееся кольцо закрепляется на валу насоса, а втулка может перемещаться в осевом направлении. Герметизация по валу или в корпусе осуществляется эластичными кольцами 4. Кольцо 4 по втулке 2 дает ей свободу некоторой ориентации в осевом направлении.

Данное уплотнение имеет внешний подвод жидкости к деталям. Это дает преимущества по сравнению с внутренним подводом: уменьшается утечка через торцовые поверхности и происходит отбрасывание твердых частиц, находящихся в перекачиваемой жидкости, от уплотняющих поверхностей. Кроме этого, при применении хрупкого материала кольца оно лучше выдерживает напряжения сжатия, чем растяжения.

При работе через уплотнение все же протекает некоторое количество жидкости. Утечка изменяется и со временем и зависит от многих факторов: давления среды, давления на контактирующих поверхностях, степени разгрузки, окружной скорости, материалов пары трения, биения, вибрации и т.д. Работу торцовых уплотнений можно считать удовлетворительной, если утечка не превышает капельной (0,2-10 см³/ч).

Механические уплотнения чувствительны к твердым частицам, содержащимся в перекачиваемой жидкости.

Обычно в уплотнениях жесткий неподвижный элемент уплотнения выполняется из твердого материала. Подвижный в осевом направлении элемент изготавливают из твердого металла с вставкой (вклейкой) из более мягкого материала (силицированного графита, керамики, бронзы) (рис. 2.18). В обычной холодной воде хорошо работает пара трения сталь 20Х13 (HRC 50) - графит 2П-100.

Подвижный элемент уплотнения прижимается к неподвижному цилиндрической или пластинчатой пружиной. При больших размерах уплотнения для равномерного распределения прижимного усилия применяется шесть-восемь небольших пружин (рис. 2.18). Суммарное усилие от пружин должно немного превышать силу трения подвижного элемента об уплотняющее кольцо. Пружины, работающие в нейтральных жидкостях, изготавливаются из углеродистой или малолегированной стали. Для химически активных жидкостей применяются пружины из углеродистой стали с покрытием резиной, фторопластом, пластмассой, или пружины без покрытия из сталей X18H9T, X17H13M3T, OX23H28M3D3T. В некоторых вариантах исполнения насосов ЦНС прижимное усилие создается упругими силами эластичного элемента сильфона, диафрагмы.

Для исключения проворачивания подвижные элементы фиксируют шпонками, поводками, и другими элементами, обеспечивающими свободу осевых перемещений.

На рис. 2.18 показано торцовое уплотнение насоса ЦНС 180-1422.

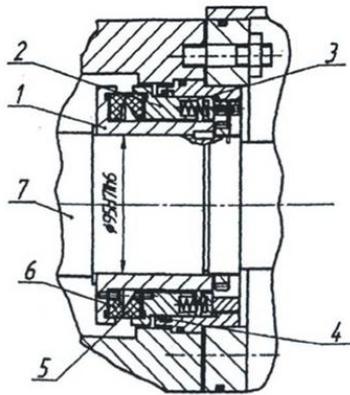


Рис. 2.18 - Торцовое уплотнение насоса ЦНС 180-1422:

1 - вращающийся диск; 2 - подвижная втулка; 3 - пружины; 4 - уплотнительное кольцо; 5,6 - кольца из силицированного графита; 7 – вал насоса.

2.8. Узел разгрузки

Принципиально узлы разгрузки осевых сил насосов ЦНС не отличаются один от другого. Основными их деталями являются вращающиеся на валу разгрузочные диски, описанные в п. 2.5, и неподвижные подушки (подпятники). На рис. 2.19 представлена схема узла разгрузки.

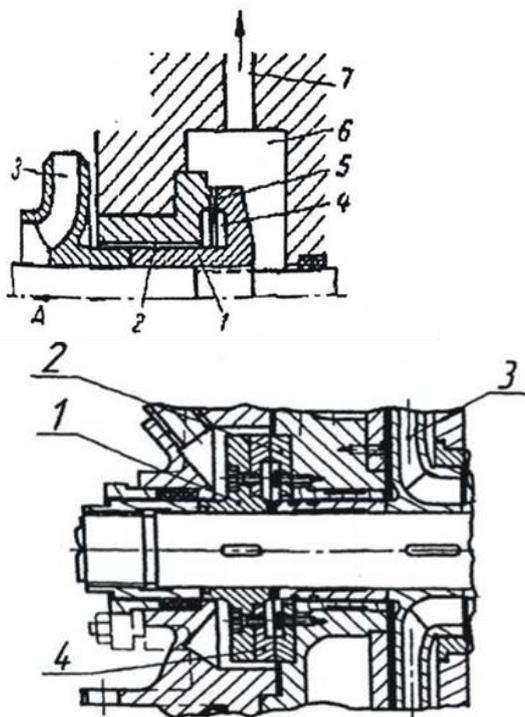


Рис. 2. 20 - Узел разгрузки насоса ЦНС 180-225:

1 - разгрузочный диск; 2 - подушка; 3 - рабочее колесо последней ступени; 4 - сменное кольцо

Гидравлическая пята 1 закрепляется на валу насоса с напорной стороны за последним рабочим колесом 3. Жидкость из рабочего колеса 3 поступает через кольцевой зазор 2 в промежуточную камеру 4. Затем она проходит через торцовый зазор 5 в разгрузочную камеру 6, соединенную трубкой 7 с подводом первой ступени насоса.

Так как давление в камере 4 значительно больше, чем в разгрузочной, на диск гидравлической пяты действует усилие, разгружающее осевое усилие ротора.

На рис. 2.20 представлено разгрузочное устройство нефтяного насоса ЦНС180-225 (обозначения основных деталей приведены в соответствии с принципиальной схемой,

показанной на рис. 2.19).

Гидравлическая пята является саморегулирующимся устройством: зазор 5 автоматически устанавливается за счет осевых смещений ротора таким, что разность сил давления по обе стороны диска пяты равна усилию на роторе насоса.

Недостатком гидравлической пяты являются дополнительные утечки и трение диска, уменьшающие к.п.д. насоса.

2.9 Опоры ротора

В большинстве насосов ЦНС применяются выносные подшипниковые опоры 9 (рис. 1.1) в виде подшипников качения или скольжения. На рис. 2.21 показан подшипник скольжения, применяющийся в насосах ЦНС для систем поддержания пластового давления.

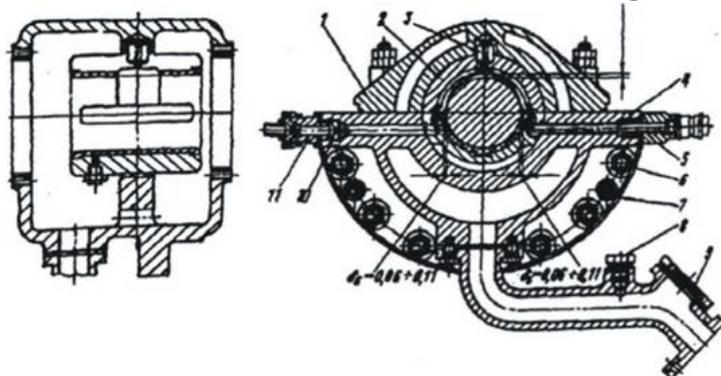


Рис. 2.21 - Подшипник скольжения

В чугунном корпусе 4 (рис. 2.21) подшипника, имеющем горизонтальный разъем, устанавливается вкладыш 2, состоящий из двух половин, который от проворачивания фиксируется в корпусе цилиндрическим штифтом 3. Масло от маслосистемы подводится к штуцеру 11 и поступает к вкладышу. Для регулирования количества масла предусмотрены специальные дроссельные шайбы 10. Контроль за подачей смазки осуществляется через смотровое окно 9 на сливном трубопроводе 5. Для замера температуры масла в штуцеру 8 на сливном трубопроводе может быть установлен термометр. Вкладыши подшипников заливаются баббитом Б-83 или Б-16. Они могут устанавливаться в разъемном корпусе как по цилиндрической, так и по сферической расточке с натягом. Нижняя часть корпуса 4 фланцем с помощью шпилек 6 крепится к корпусу насоса. После установки подшипника он фиксируется штифтами под развертку 7.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что характерно для насосов типа ЦНС?
2. Из каких основных узлов состоит насос ЦНС?
3. В чем заключается принцип работы насоса ЦНС?
4. Какие рабочие колеса применяют в насосах ЦНС?
5. Как выполняется шпоночный паз в рабочих колесах ЦНС?
6. Из каких материалов делают рабочие колеса в насосах?
7. Чем хороши рабочие колеса с удлиненной ступицей?
8. Как можно улучшить чистоту поверхности рабочих колес?
9. Какие функции несет направляющий аппарат в насосе ЦНС?
10. Какие типы направляющих аппаратов применяются в ЦНС?
11. Как устанавливается направляющий аппарат в секции?
12. Из какого материала изготавливают направляющие аппараты?
13. Что представляет собой лопаточный направляющий аппарат?

14. Из каких деталей состоит секция насоса ЦНС?
15. Как соединяются между собой соседние секции насоса ЦНС?
16. Чем стягиваются секции в насосе ЦНС?
17. Из чего состоит корпус насоса ЦНС?
18. Какие функции выполняют крышки корпуса насоса ЦНС?
19. Чем уплотняются стыки в корпусе насоса ЦНС?
20. Из какого материала делаются стяжные шпильки насоса?
21. Что включает в себя ротор насоса ЦНС?
22. Что является опорой ротора?
23. Как располагаются шпонки на валу насоса ЦНС?
24. Для чего на вал устанавливают защитные втулки (рубашки)?
25. Как садятся на вал рабочие колеса в насосах ЦНС?
26. Чем перекрывается перетекание жидкости под втулкой?
27. Из какого материала выполняется разгрузочный диск?
28. Какие типы муфт используются в насосных агрегатах ЦНС?
29. Какие уплотнения рабочих колес применяют в насосах ЦНС?
30. Какие применяются в насосах ЦНС торцовые уплотнения?
31. Почему в насосах ЦНС не требуются упорные подшипники?
32. Что собой представляет подшипник скольжения для насоса ЦНС?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

РАСЧЕТ ГЛАВНОЙ ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКИ ШАХТЫ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: закрепление полученных знаний, а также приобретению навыков принятия самостоятельных обоснованных решений, проведения необходимых для этого инженерных расчетов водоотливных установок.

ХОД РАБОТЫ:

- Изучить теоретическую часть;
- Выбрать данные для расчета согласно, своего варианта;
- Произвести расчет согласно МУ;
- Оформить расчет и необходимую графическую часть;
- Ответить на контрольные вопросы;
- Защитить.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Исходные данные для расчета водоотливной установки:

$H_{ш}$ – глубина рабочего горизонта шахты, м;

Q_n, Q_{max} – нормальный и максимальный притоки воды, м³/ч;

$t_{д.м.}$ – время максимального притока, дни.

Для определения индивидуальных данных практической работы студенту необходимо знать свой номер в списке учебной группы. И по этому номеру выбрать данные приведенные в ПРИЛОЖЕНИИ 1.

2. Рекомендации по выполнению расчетной части практической работы.

При выполнении расчета водоотливной установки необходимо:

- выбрать тип насоса и определить необходимое количество рабочих колес;
- рассчитать и выбрать по ГОСТам [1, с. 172, 18] трубы для всасывающего и напорного трубопроводов;
- составить схему трубопровода с расстановкой трубопроводной арматуры и фасонных соединений;
- определить потери напора в трубопроводах;
- построить характеристики насоса и трубопровода и определить фактический режим работы насоса;

- по фактическому режиму работы определить допустимую высоту всасывания;
- рассчитать мощность и принять электродвигатель;
- определить время работы насосов по откачке нормального и максимального притоков воды и окончательно принять число насосных агрегатов;
- рассчитать емкость водосборника;
- определить технико-экономические показатели.

При расчете водоотливной установки можно пользоваться методикой, изложенной в учебном пособии [1]. Здесь же приведены все необходимые для расчета справочные данные. Однако при пользовании этой литературой необходимо откорректировать формулу для определения расчетной подачи насоса Q_p , которая после принятия ПБ в 1995 г. имеет вид:

$$Q_p = \frac{24Q_{max}}{20}; \text{м}^3/\text{ч}.$$

Следует также иметь в виду, что в учебном пособии [1] характеристики насосов ЦНС приведены на одно колесо, поэтому,

для получения действительной характеристики выбранного насоса, нужно напор на одно колесо умножить на число колес, определенное расчетом. Рабочая производительность насоса должна быть не менее расчетной.

При выборе двигателя не следует забывать, что валы насоса и двигателя соединяются непосредственно соединительной муфтой, поэтому частота вращения вала выбираемого двигателя должна быть равна частоте вращения вала насоса.

Согласно ПБ число насосов при притоке воды более $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ должно не менее трех (рабочий, резервный и ремонтируемый).

Если по максимальному притоку воды невозможно подобрать насос нужной производительности, то следует предусмотреть параллельную работу насосов. При этом число насосов, находящихся в резерве и ремонте, на единицу больше количества одновременно находящихся в работе. Если число работающих насосов 9 и больше, то число насосов, находящихся в резерве и ремонте, принимается равным числу работающих.

Если развиваемый насосом напор не обеспечивает откачку воды непосредственно на поверхность, то принимается последовательное соединение насосов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

- 1) Требования, предъявляемые к шахтным водоотливным установкам.
- 2) Схема водоотливной установки. Насосные камеры.
- 3) Расчет главной водоотливной установки.
- 4) Обеспечение энергосберегающих режимов работы водоотливных установок.
- 5) Защита оборудования водоотлива от агрессивных вод.
- 6) Очистка водопроводов от отложений.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

ШАХТНЫЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ И ОСЕВЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучение принципа действия, параметров и конструкции шахтных вентиляторов.

ХОД РАБОТЫ:

- Изучить теоретическую часть;
- Сделать краткий конспект;
- Ответить на контрольные вопросы;
- Защитить.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

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 -4,0 до 30,0 -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 500-600 м³/с, величина разности давления, создаваемая шахтными вентиляторами, ограничивается значением 0,5 -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:

- главные вентиляторы, обслуживающие вентиляционную сеть всей шахты или большей ее части;
- вспомогательные вентиляторы, обслуживающие значительную часть вентиляционной сети шахты или работающие совместно с главным;
- 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.

2. 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. Спрямяющий 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.

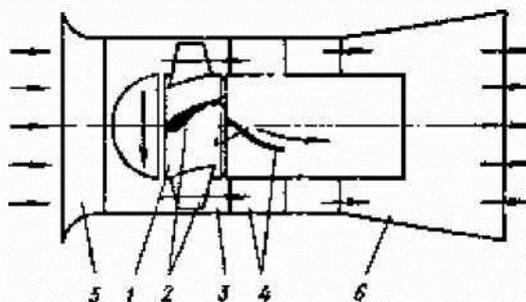


Рис.1.1. Схема осевого вентилятора: 1 - рабочее колесо; 2 - лопатки рабочего колеса; 3 - кожух; 4 - спрямляющий аппарат; 5 - коллектор; 6 - диффузор

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). Спрямяющий 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.

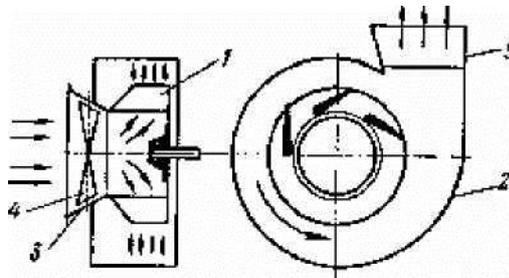


Рис.1.2. Схема центробежного вентилятора: 1- рабочее колесо; 2 - спиральный кожух; 3 - входной коллектор; 4 - лопатки направляющего аппарата; 5 - диффузор

В рабочее колесо воздух входит параллельно оси вала вентилятора, затем под действием тяги, развиваемой лопатками, и центробежной силы поворачивается 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:

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

Достоинства центробежных вентиляторов:

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

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

3. 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 - 20,0 $\text{м}^3/\text{с}$, используемые как вспомогательные и главные - 20,0-600,0 $\text{м}^3/\text{с}$.

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 0,5-10,0 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 - 1,2 м (вентиляторы местного проветривания) и 1,1 - 5,0 м (вспомогательные и главные вентиляторы).

Скорость вращения рабочего колеса (n). Обычно имеется в виду количество оборотов рабочего колеса в единицу времени (об/мин). 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 об/мин (вентиляторы с диаметром рабочего колеса 4,0-5,0 м) до 3000 об/мин (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 15-45°, 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 ($\theta_{на}$). 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 0-90°. 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

$$N_B = \frac{Q_B H_B}{1000 \eta_B}$$

где Q_B - производительность в расчетном режиме, м³/с;

H_B - депрессия в том же режиме, Па;

η_B - статический коэффициент полезного действия для этого режима.

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

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.

4. 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 г 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 лопатки рабочего колеса, Р - реверсивный, М - модернизированный; цифра - диаметр рабочего колеса в дециметрах (ВОД-11) или метрах (ВОКР-1,8).

В работе рассмотрены конструкции вентиляторов серий ВОКД и ВОД, применяемых в настоящее время на шахтах. 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 -22000 м³/мин, депрессия - 0,6-4,8 кПа.

Вентиляторы серии имеют так называемые «крученые» лопатки. По мере удаления от венца рабочего колеса к периферии сечения лопатки поворачиваются одно относительно другого, угол установки лопатки на рабочем колесе возрастает к ее концу. В связи с изменением угла поворота лопатки для разных сечений по высоте, он отсчитывается для сечения, находящегося на радиусе, равном $0,4D_2$. Крученые лопатки 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 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 ($O_{рев} > 0,6 O_{прям}$), 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 м³/мин и эквивалентным отверстием 0,3-0,6 м².

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 об/мин (здесь и далее приведена синхронная скорость вращения двигателей) и мощностью 75,0 кВт.

ВОКД-1,5 - применяется в качестве калориферного и главного на шахтах и рудниках с потребностью в воздухе, не превышающей 3000 м³/мин и эквивалентным отверстием 0,6-1,2 м².

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

ВОКД-1,8 - применяется в качестве главного на шахтах с расходом воздуха до 5500 м³/мин и эквивалентным отверстием 0,7-2,0 м². 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 об/мин и имеющие мощности 320 и 575 кВт. Можно применять асинхронный двигатель АО-103-6МУ2 (560 кВт и 1000 об/мин). Двигатели соединяются с валом с помощью зубчатой муфты.

ВОКД-2,4 - применяется в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до 10000 м³/мин и эквивалентным отверстием 1,3-3,6 м².

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 электродвига-

теля или вручную.

Вентилятор комплектуется синхронным электродвигателем с дополнительной пусковой обмоткой. Скорость вращения 600 или 750 об/мин.

ВОКД-3,0 - применяется в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до 15000 м³/мин и эквивалентным отверстием 1,8-5,5 м². Может развивать значительную депрессию (1,3-4,5 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 об/мин.

ВОКД-3,6 - применяется в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до 22000 м³/мин и эквивалентным отверстием 2,7-8,0 м². Развивает значительную депрессию (0,8-4,7 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 об/мин/

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 об/мин.

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 $75-30^\circ$ (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.

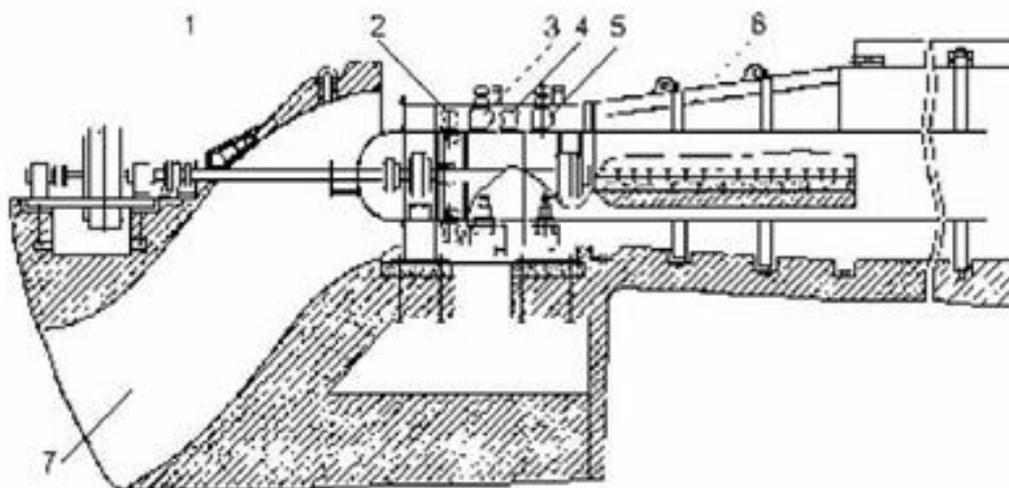


Рис. 4.1. Вентилятор серии ВОД-40: 1 - приводной двигатель; 2 - рабочее колесо первой ступени; 3 - промежуточный направляющий аппарат (НА); 4 - рабочее колесо второй ступени; 5 - выходной спрямляющий аппарат (СА); 6 - диффузор, 7 - входной коллектор

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 воздухозамерной 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 $1800 \text{ м}^3/\text{мин}$ и эквивалентным отверстием $0,3-0,85 \text{ м}^2$. При этом развивает депрессию $1,1-3,7 \text{ кПа}$, максимальный КПД - $0,81$.

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

Вентилятор комплектуется асинхронным двигателем мощностью 100 кВт и скоростью

вращения 1500 об/мин.

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 - 1,87 м². Развивает депрессию 0,9-4,3 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 60-74% 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.

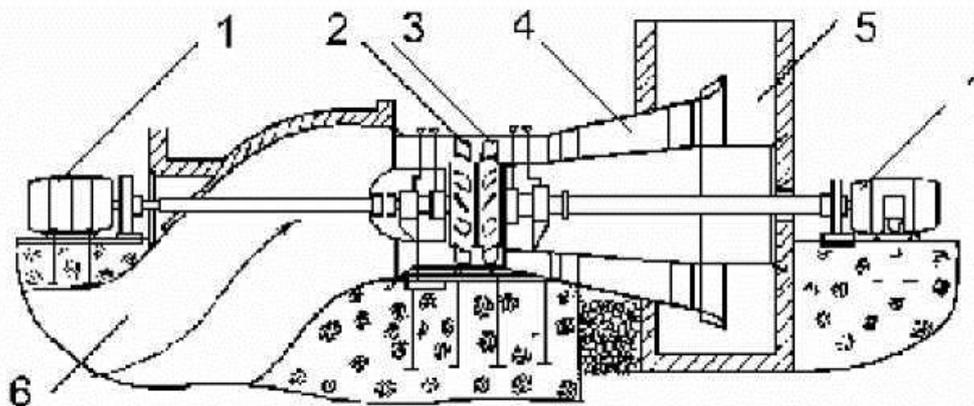


Рис.4.2. Вентилятор ВОД-16: 1 - приводной двигатель; 2 - рабочее колесо первой ступени по ходу струи при прямой работе; 3 - рабочее колесо второй ступени; 4 - диффузор, 5 - выходной канал; 6 - входной коллектор

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

ВОД-18 - является промежуточной моделью с применением в качестве главного вентилятора для шахт с потребностью в воздухе до 4500 м³/мин и эквивалентным отверстием 0,7-2,0 м². Выполнен по стандартной аэродинамической схеме вентиляторов

ВОД. Развивает депрессию 1,0-4,5 кПа. Статический максимальный 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 м³/мин и эквивалентным отверстием 0,77 У2,90 м². Выполнен по стандартной аэродинамической схеме вентиляторов ВОД. Развивает депрессию 0,8-3,4 кПа. Статический коэффициент полезного действия в рабочей зоне 0,6-0,8.

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 -158° с помощью поворотного механизма.

Регулирование рабочих режимов осуществляется индивидуальным поворотом рабочих лопаток в пределах 15-45° 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 5-10° на работающем вентиляторе с помощью поворотного механизма или вручную.

Осевые нагрузки на валу компенсируются радиальноупорным подшипником.

Вентилятор оборудован колодочным тормозом.

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

Модификация вентилятора **ВОД-21М** имеет более широкий диапазон рабочих расходов и комплектуется двигателем СД2- 85/47-8УХЛ4.

ВОД-30 - применяется для работы в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до 13500 м³/мин и эквивалентным

отверстием 1,6-5,73 м². 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 об/мин.

ВОД-40 - применяется для работы в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до 22000 м³/мин и эквивалентным отверстием 2,4-10,7 м². 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 об/мин.

ВОД-50 - применяется для работы в качестве главного для шахт с потребностью в воздухе до 34000 м³/мин и эквивалентным отверстием 4,6-16,7 м².

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.

5. 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 ВЦД-8, ВЦ-11, ВЦ-16, ВЦП-16 и

ВШЦ-16, развивающие производительность 350-2700 м³/мин и депрессию - 1,1-9,2 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 (ВЦД-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 0-90°. 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+60°.

ВЦД-8 - предназначен для проветривания проводимых выработок большого сечения - стволов, тоннелей, выработок околоствольных 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 об/мин). 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 0,1-0,65 м², для работы в качестве калориферного или других промышленных целей.

Комплектуется асинхронным двигателем со скоростью вращения 1500 об/мин.

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 0,3-1,3 м².

Комплектуется асинхронным двигателем со скоростью вращения 1000 об/мин.

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 об/мин, 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 об/мин с соответствующими оборотам мощностями 200, 120, 90 и 60 кВт.

ВШЦ-16 - выполнен по аэродинамической схеме Ц35-20, применяется для установки в качестве главного для шахт, имеющих эквивалентное отверстие в диапазоне 0,24 -1,4 м² или для работы на калориферной установке.

Комплектуется асинхронным двигателем со скоростью вращения 1000 об/мин.

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 - +60°. Привод поворота лопаток направляющего аппарата управляется дистанционно или вручную.

Вентилятор комплектуется синхронным двигателем, имеющим скорость вращения 750 об/мин, может работать с двигателем, имеющим скорость вращения 600 об/мин в режимах с пониженным 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 $-25 - +60^\circ$. 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.

ВЦ3-32 - 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 - 43000 м³/мин и депрессию - 0,9 - 9,2 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.5.1) - 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 вентиляльно-машинного каскада. Эта система привода позволяет менять скорость вращения плавно в пределах 300 г 600 об/мин.

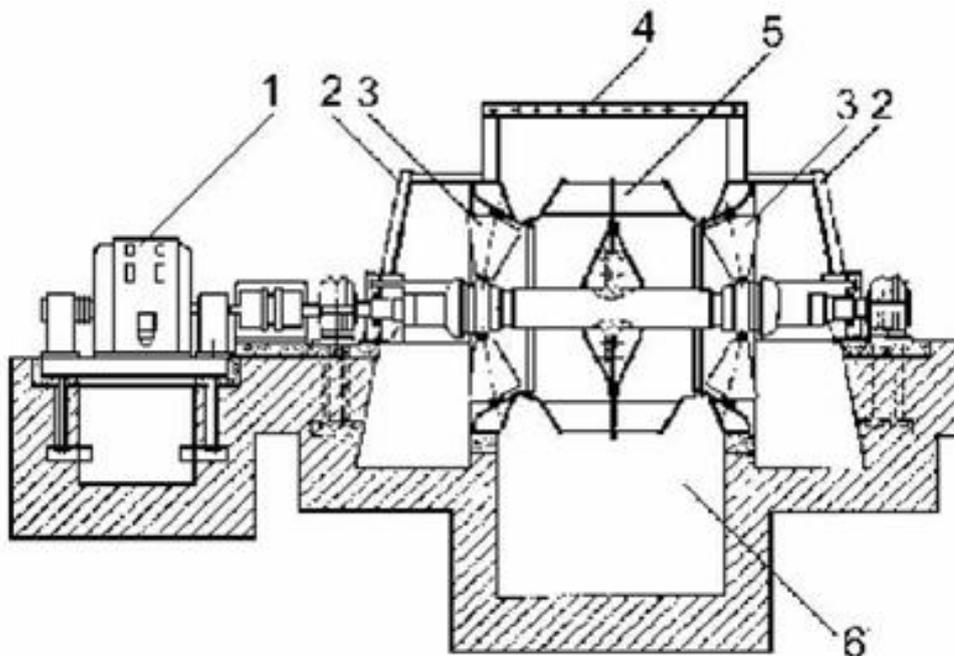


Рис.5.1. Центробежный вентилятор ВЦД-32: 1 - приводной двигатель; 2 - коробки всасывающих коллекторов; 3 - лопатки направляющих аппаратов; 4 - кожух вентилятора; 5 - рабочее колесо (сдвоенное); 6 - выходной канал

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 0-90°.

В случае использования регулируемого привода вентилятор комплектуется одним асинхронным двигателем с фазным ротором, мощностью 1250 кВт и скоростью вращения 600 об/мин.

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 -600 об/мин, 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 г -+ 50 °С.

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 0-90° 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 - 490 об/мин с помощью асинхронного комбинированного вентиляно-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 об/мин. Эта же машина работает на вал в паре с основным двигателем при скорости вращения более 375 об/мин.

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 на

направляющие аппараты предназначены для регулирования режимов работы вентилятора и разгрузки при пуске. Рабочие режимы регулируются в диапазоне углов 0-70°, возможные углы поворота лопаток – 0-90°.

Вентилятор может комплектоваться электроприводом для работы в трех режимах:

- ВЦД-47У-НС - работа с нерегулируемым приводом - применяется основной синхронный двигатель со скоростью вращения 500 об/мин и разгонный двигатель с фазным ротором. Возможно применение в качестве основного двигателя со скоростью вращения 375 об/мин;
- ВЦД-47У-Р - работа с регулируемым приводом по системе вентиляно-машинного каскада со скоростью вращения в диапазоне 250-500 об/мин;
- ВЦД-47У-Н - работа с нерегулируемым приводом в виде двух асинхронных двигателей, соединенных с концами вала, со скоростью вращения 500 об/мин.

6. 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

$$R = 6,5\alpha \frac{l_{\text{тр}}}{d^5}$$

где α - коэффициент аэродинамического сопротивления применяемых труб, Н с²/м⁴;
 $l_{\text{тр}}$ - 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.6.1). 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).

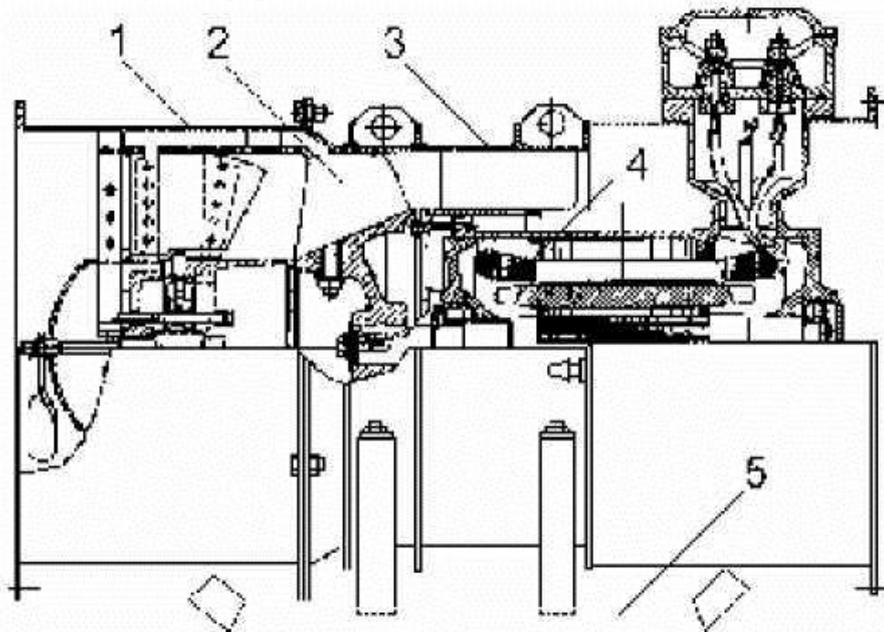


Рис. 6.1. Вентилятор ВМ-5М: 1 - корпус; 2 - рабочее колесо; 3 - спрямляющий аппарат; 4 - электродвигатель; 5 - салазки

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 лопатки на угол $+45^\circ$ - -50° . 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 об/мин 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 об/мин, 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, кок 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 об/мин, 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.6.2) 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 коробку с регулирующим устройством в виде перекрываваемых сопел.

Регулировка оборотов рабочего колеса осуществляется трехходовым краном, обеспечивающим закрытие 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.

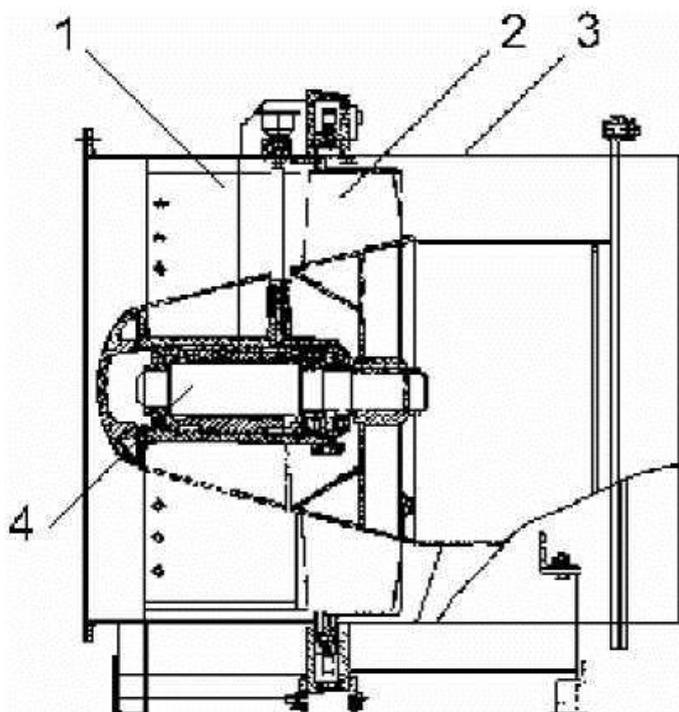


Рис. 6.2. Вентилятор ВМП-6М: 1 - передняя часть корпуса; 2 - рабочее колесо с лопатками; 3 - выходная часть корпуса; 4 - вал рабочего колеса

ВКМ-200А имеет одно нерегулируемое сопло в коробке подачи сжатого воздуха и одну, соответственно, напорную характеристику в осях Н-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 Н-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 Н-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.6.3) 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.

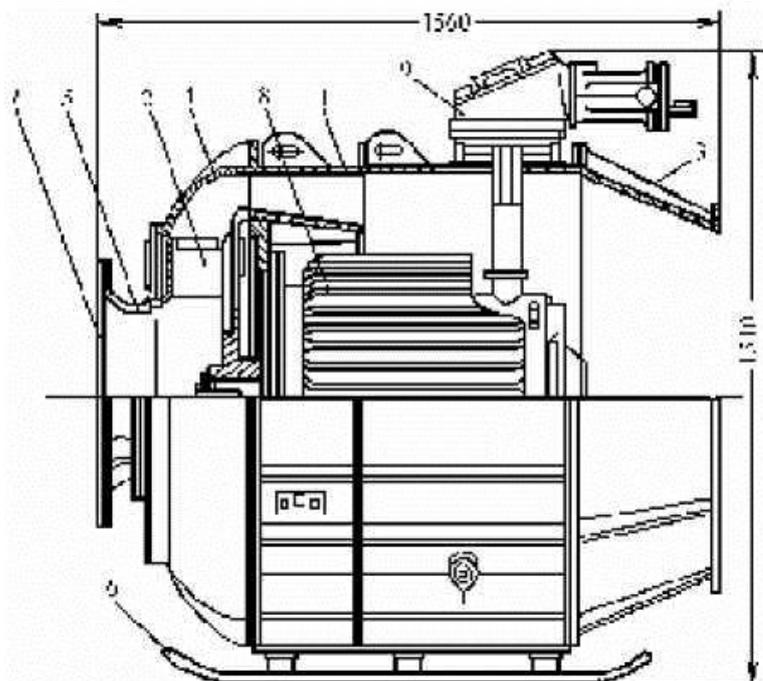


Рис. 6.3. Вентилятор ВЦ-7: 1- кожух; 2 - рабочее колесо; 3 - выходной патрубок; 4 - передняя часть корпуса; 5 - переходник; 6 - салазки; 7 - коллектор; 8 - двигатель; 9 -кабельный ввод

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 закрылков 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 0-70° у вентилятора ВМЦ-6 и 0-80° 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.

7. 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:

- расширения диапазона эксплуатационных параметров (дебит и напор) моделей до величин, позволяющих использовать вентиляторные установки в условиях изменения технологии и параметров горного предприятия;
- расширения зоны высоких коэффициентов полезного действия вентиляторов в области полезного использования этих вентиляторов;
- 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:

- © простая и надежная регулировка режимов поворотом лопаток рабочих колес
- © простой переход на реверсивное направление использованием направляющего и спрямляющего аппаратов;
- © легкая разборка на отдельные узлы при монтаже и демонтаже в условиях ограниченного пространства подземных выработок;
- © рациональность и жесткость элементов и узлов, гарантирующие длительную и безотказную работу;

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

© низкий уровень шумности.

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.7.1.), 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.

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.

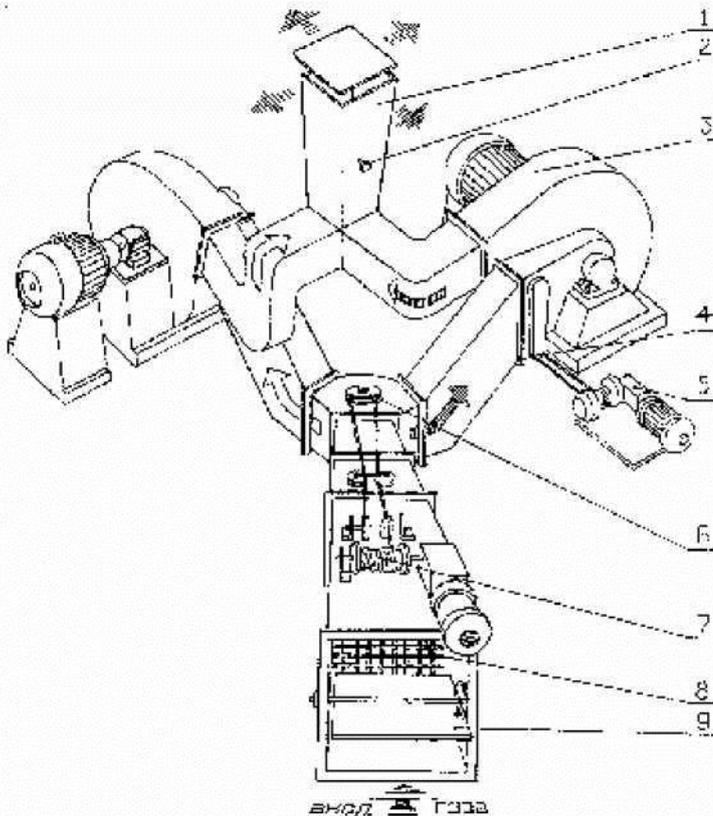


Рис.7.1. Установка вентиляторная центробежная газоотсасывающая УВЦГ-15: 1 - выходной патрубок; 2 - заслонка; 3 - вентилятор ВЦГ-15; 4 - гибкое уплотнение; 5, 7 - лебедки; 6 - устройство переключения потока; 8 - защитная лядя; 9 - лядя

Тенденции совершенствования вентиляторов местного проветривания предполагают направления:

- 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;

- уменьшение размеров и веса моделей ВМП;
- 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.

8. 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 в виде газов и пыли. Ситуация усугубляется дополнительным выделением газов из полезного ископаемого и пород. Появляется необходимость борьбы с этими вредностями путем их разжижения до безопасных концентраций подаваемым в выработки воздухом. Проветривание - процесс, без которого нормальная работа шахты невысказима 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 растроб, раскрывающийся по направлению движения струи при нормальной вентиляции.

Оптимальный угол раскрытия диффузора составляет $9 \text{ г } 12^\circ$.

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

Работа шахтной вентиляторной установки неизбежно 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 $15 \text{ г } 30\%$ от депрессии вентилятора, а утечки - $5 \text{ г } 20\%$ от его производительности. Эти потери будут неизбежно 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 неизбежно приведет к последующим потерям при эксплуатации.

9. ТИПЫ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК.

Состав оборудования, вид схемы подводящих каналов и каналов реверсивной установки, перечень и конструкции дополнительных устройств вентиляторной установки зависят 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.9.1).

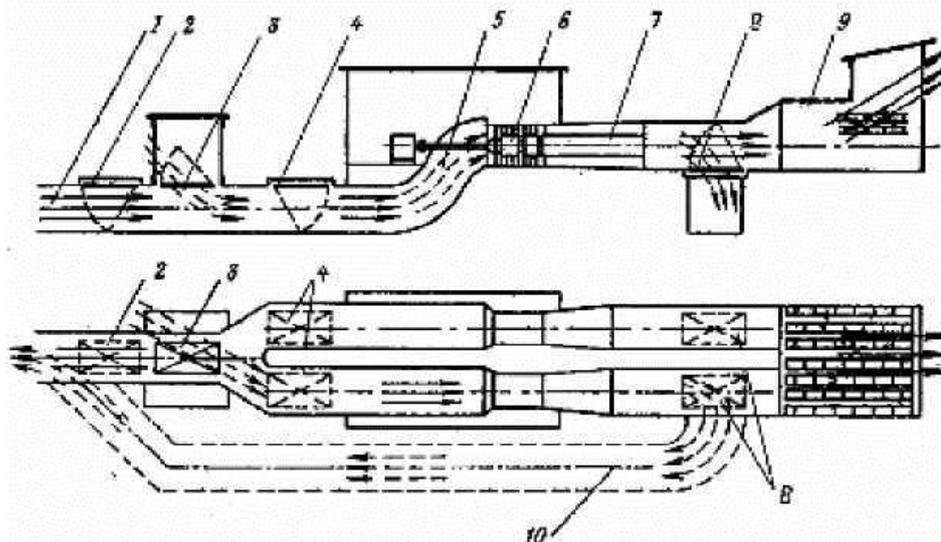


Рис. 9.1. Схема вентиляторной установки с нереверсивным вентилятором ВОКД-3: 1 - подводящий канал; 2 - отсекающая лядя канала; 3 - лядя всасывающей будки; ляди переключения; 5 - утка; 6 - вентилятор; 7 - диффузор; 8 - ляди диффузоров; 9 - глушитель шума; 10 - обводной канал

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 лядями: две ляди 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 ляди 4 обеспечивают переключение вентиляторов. Переключающие ляди 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 лядью 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 ляду 3 входной будки, поднимают ляду 8 обводного канала и опускают отсекающую ляду 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 лядами, 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.

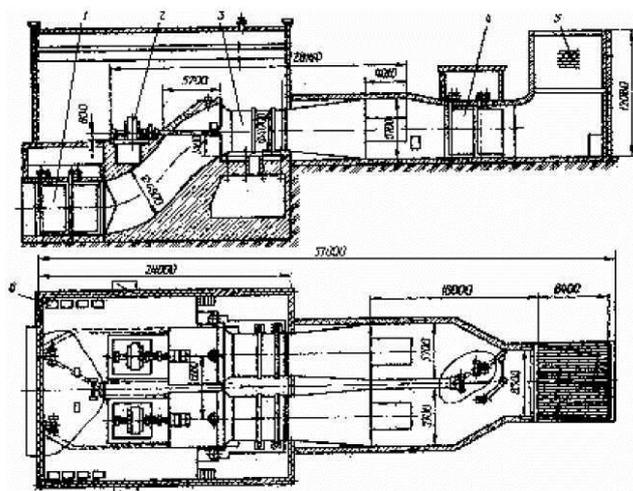


Рис.9.2. Установка с вентилятором ВОД-40, работающая в нормальном режиме на всасывание: 1 - подводящий канал; 2 - привод; 3 - вентилятор; 4 - переключающие двери в диффузоре; 5 - глушитель шума

Вентиляторная установка, предназначенная для работы на всасывание (рис.9.2), 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.9.3), оборудуется переключающими дверями 1 и 4, установленными после глушителя шума и после диффузоров в нагнетательном канале. Отсекающая лядя 7 работает при переходе на реверсивный режим. Глушитель шума в установке один и находится в специальном здании. В этом же здании располагается калориферная установка.

В зависимости от типоразмера вентилятора установки могут иметь дополнительные особенности (специальные профильные лопатки в каналах и т.п.).

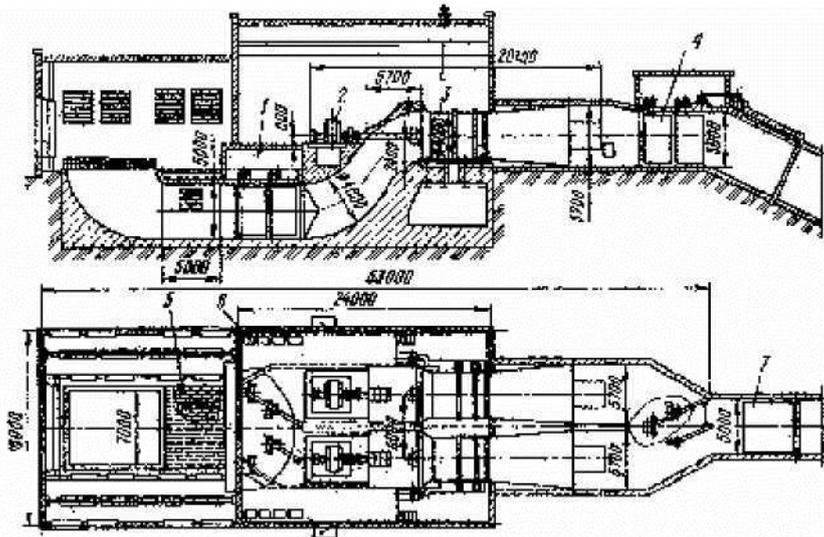


Рис.9.3. Установка с вентилятором ВОД-40, работающая в нормальном режиме на нагнетание: 1 - подводящий канал; 2 - привод вентилятора; 3 - вентилятор; 4 - переключающие двери в диффузоре; 5 - глушитель шума; 6 - пускорегулирующая аппаратура; 7 - отсекающая лядя в нагнетательном канале

Вентиляторные установки с центробежными вентиляторами отличаются большим количеством возможных компоновок оборудования.

Оригинальную компоновку оборудования, отличающуюся выгодными параметрами и схемой вентиляционных каналов, имеет вентиляторная установка с вентилятором ВЦД-32М. Эта установка (рис.7.4), при наличии двух агрегатов двухстороннего всасывания, располагается на сравнительно небольшой площади. Сокращение площади достигнуто расположением обводного канала 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. Лядя 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 лядю 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.

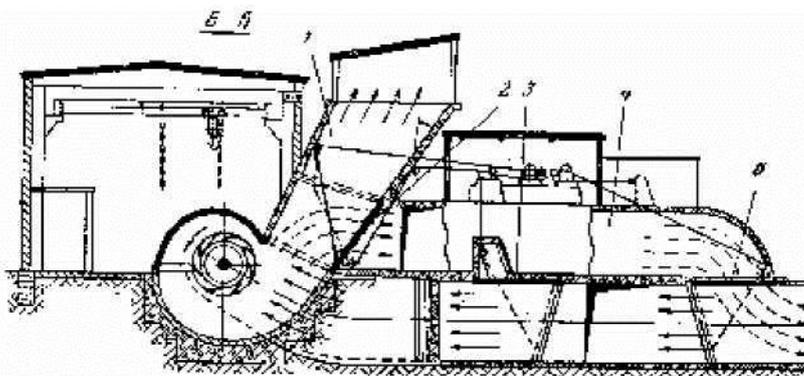
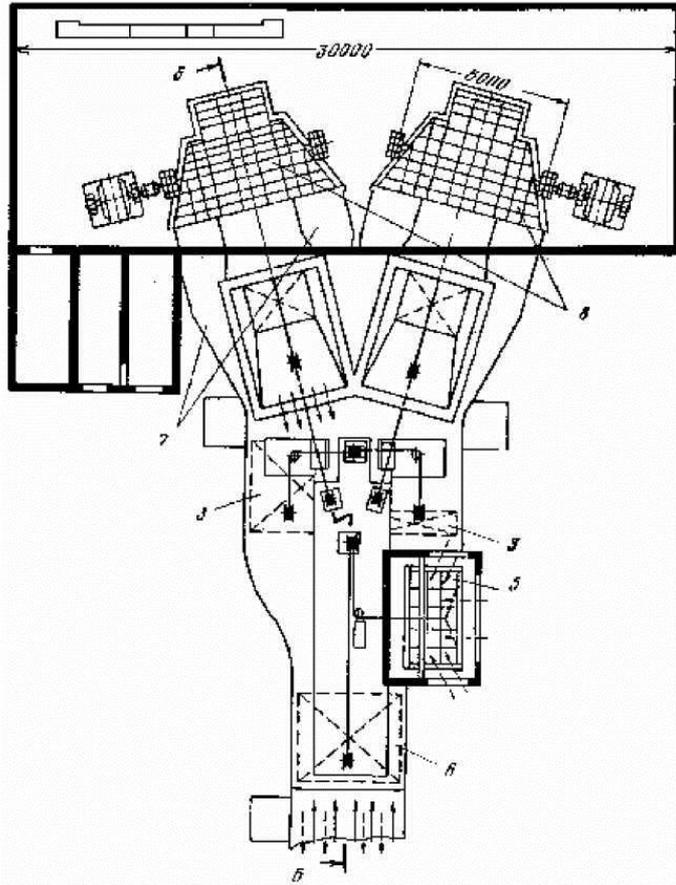


Рис.9.4. Схема вентиляторной установки с вентилятором ВЦД- 32М: 1 - диффузор; 2 - ляда диффузора; 3 - ляда переключения вентиляторов; 4 - обводной канал; 5 - ляда всасывающей будки; 6 - отсекающая ляда; 7 - подводный канал; 8 - вентилятор

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.

10. 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 самоходные.

Ляды с канатным приводом (рис.10.1, 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. При этом дополнительно предусматривается система отклоняющих блоков и автоматика работы ляды.

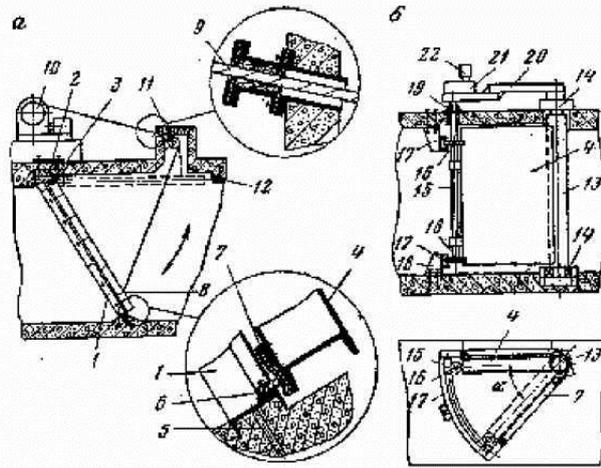


Рис.10.1. Конструкции ляд: а - лядя падающая, б - лядя самоходная; 1 - рама; 2 - подвесное устройство; 3 - шарнир; 4 - полотно ляды; 5 - крепежный элемент; 6 - полоса резины; 7 - полая резиновая прокладка; 8 - крепежный рым; 9 - канат; 10 - лебедка; 11 - блок; 12 - конечный отключатель; 13 - ось ляды; 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.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

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 регулировочными? Почему?
6. Какие достоинства и параметры осевых вентиляторов предопределили их широкое применение в годы развития горно-добывающей отрасли в России и СССР?
7. Приведите основные особенности вентиляторов серии ВОКД. Чем отличается вентилятор ВОКР от других вентиляторов этой серии?
8. Какие положительные отличия имеет серия ВОД в сравнении с другими осевыми вентиляторами?
9. Чем отличается вентилятор ВОД-16 от других вентиляторов серии ВОД?
10. Какие свойства центробежных вентиляторов предопределили их широкое распространение на современном этапе развития горнодобывающей отрасли?
11. По какому назначению применяются центробежные вентиляторы группы малых размеров в шахтных сетях?
12. Какие центробежные вентиляторы относятся к группе средних размеров? Назовите примерные величины их рабочих параметров.
13. Чем отличается ВЦЗ-32 от остальных в группе вентиляторов средних размеров?
14. Чем отличаются вентиляторы ВЦД-32, ВЦД-40 и ВЦД-47 «Север» от других представителей своей группы?
15. Назовите способы регулирования рабочих параметров осевых и центробежных вентиляторов.
16. Какие требования предъявляются к ВМП в шахтах?
17. Дайте краткую характеристику ВМП по сериям (ВМ, ВМП и ВЦ).
18. Назовите составляющие части главной вентиляторной установки шахты.
19. Какие типы ГВУ приняты для работы в шахтных сетях? По каким признакам они подразделяются?
20. Какие мероприятия в ГВУ обеспечивают нормальную ее работу в условиях пониженных температур?
21. Перечислите вспомогательные устройства ГВУ, сформулируйте их назначение.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

РАСЧЕТ ГЛАВНОЙ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Закрепление полученных знаний, а также приобретению навыков принятия самостоятельных обоснованных решений, проведения необходимых для этого инженерных расчетов турбомашин и вентиляторных установок.

ХОД РАБОТЫ:

- Изучить теоретическую часть;
- Выбрать данные для расчета согласно, своего варианта;
- Произвести расчет согласно МУ;
- Оформить расчет и необходимую графическую часть;
- Ответить на контрольные вопросы;
- Защитить.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Исходные данные для расчета водоотливной установки:

Q_B – необходимая производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$;

h_{\min} , h_{\max} – минимальная и максимальная депрессия (компрессия) вентилятора соответственно в начальный и конечный периоды эксплуатации установки, даПа

T – срок службы вентиляторной установки, год

Для определения индивидуальных данных практической работы студенту необходимо знать свой номер в списке учебной группы. И по этому номеру выбрать данные приведенные в ПРИЛОЖЕНИИ 1.

2. Рекомендации по выполнению расчетной части практической работы.

Выбор типа вентилятора необходимо производить по исходным данным своего варианта, т. е. по требуемой производительности Q_B , минимальной h_{\min} и максимальной h_{\max} депрессиям с использованием графиков рабочих зон. Назначение, аэродинамические характеристики и выбор шахтных вентиляторов приводятся в справочном пособии [2].

В целом последовательность расчета по проектированию вентиляторной установки нужно выдерживать по рекомендованной методике, приведенной в литературе [2].

В процессе выполнения проектных расчетов должны быть решены следующие вопросы:

- выбрать наиболее рациональный тип вентилятора, при необходимости обосновать технико-экономическим сравнением вариантов;
- установить действительные режимы работы выбранного типа вентилятора по графическому построению характеристик вентилятора и вентиляционной сети при минимальной и максимальной депрессиях;
- принять наиболее приемлемый способ регулирования режима работы установки;
- определить резерв производительности вентилятора;
- выбрать способ реверсирования вентиляторной струи;
- рассчитать мощность на валу вентилятора при минимальной и максимальной депрессии;
- определить среднегодовой расход электроэнергии.

При определении действительных режимов работы (производительности, напоров, КПД и мощности), способа регулирования нужно пользоваться индивидуальными характеристиками выбранного типа вентилятора, выкопировку которых следует прилагать к расчетно-пояснительной записке. При этом характеристику вентилятора необходимо скопировать из справочной литературы, например [2], на этой же характеристике в том же масштабе нанести по расчетным данным характеристики вентиляционной сети, а также определить параметры режима работы вентилятора.

По предельному режиму работы вентилятора определяется резерв производительности вентиляторной установки, который должен быть не менее 1,2.

Электродвигатели следует принимать комплектные для принятого типа вентилятора, а путем расчета определить мощность и годовой расход электроэнергии.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

- 1) Вентиляторные установки. Назначение. Классификация.
- 2) Сравнение осевых и центробежных вентиляторов.
- 3) Способы регулирования вентиляторных установок.
- 4) Средневзвешенный КПД вентиляторной установки.
- 5) Реверсирование воздушной струи.
- 6) Эксплуатация вентиляторных установок. Требования безопасности.
- 7) Выбор вентиляторов. Определение резерва производительности.
- 8) Испытание вентиляторной установки.
- 9) Экономия электроэнергии при эксплуатации вентиляторных установок.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

ШАХТНЫЕ ПОДЪЕМНЫЕ МАШИНЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Приобретение студентами знаний и представлений о конструктивных особенностях подъемных установок их области применения, классификации, принцип работы.

ХОД РАБОТЫ:

- Изучить теоретическую часть;
- Сделать краткий конспект;
- Ответить на контрольные вопросы;
- Защитить.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. НАЗНАЧЕНИЕ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Подъемные установки предназначены для выдачи на поверхность добываемого угля и получаемой при проходке горных выработок породы, быстрого и безопасного спуска и подъема людей, транспортирования крепежного леса, горно-шахтного оборудования и материалов. При помощи подъемной установки производятся также осмотр и ремонт армировки и крепления ствола шахты. На крупных шахтах, как правило, имеются две - три действующие подъемные установки, и каждая из них предназначена для определенных целей (выдачи угля, спуска-подъема людей, выдачи породы и т. д.), а не является резервом другой. От надежной, бесперебойной и производительной работы шахтного подъема зависит ритмичная работа всей шахты в целом, поэтому к подъемным установкам (из всего комплекса электромеханического оборудования шахты) предъявляют особые требования в отношении надежности и безопасности работы.

Подъемные машины являются наиболее мощными из всего стационарного оборудования на шахте. Мощность электропривода подъемной машины достигает 1000 кВт, а крупных - 2000 кВт и выше. Электропривод подъемных установок потребляет до 40% всей электроэнергии, расходуемой шахтой.

Скорость движения подъемных сосудов в стволе достигает 15 - 20 м/сек (54 - 72 км/час), т. е. близка к скорости движения железнодорожных составов. Так как такая скорость развивается на коротких расстояниях (равных длине шахтного ствола), подъемные машины должны иметь надежное управление и безотказно действующие тормозные устройства.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Общее устройство основного оборудования подъемных установок и конструкция входящих в ее состав элементов весьма многообразны, что определяется в первую очередь разнообразием горно-технических условий, в которых функционируют подъемные установки, а также многообразием конкретных функций, которые на них возлагаются. Среди последних особо выделяют характер поднимаемых и опускаемых шахтных грузов.

Второй фактор, определяющий разнообразие конструкций подъемных установок, связан с их основной эксплуатационной особенностью - цикличностью действия. Причем указанная цикличность является особой и характеризуется малой длительностью рабочего цикла, когда паузы между движениями соизмеримы с длительностью движения, а в общей продолжительности движения существенную долю занимают периоды неустановившихся движений, связанных с разгоном и остановом подъемной системы.

При таком режиме работы подъемной системы мощность ее привода, расход энергии, а следовательно, и экономика канатного подъема в значительной степени зависят от инерционных нагрузок, возникающих в периоды неустановившихся движений. Стремление уменьшить отрицательное влияние указанных инерционных нагрузок на экономику канатного подъема, а также нагрузок от собственного веса элементов подъемной системы определяет во многих случаях выбор конструкций отдельных элементов и общее устройство подъемной установки.

Основными признаками, по которым классифицируют канатные подъемные установки, являются нижеследующие.

Назначение подъемной установки. По этому признаку подъемные установки подразделяются на следующие:

- а) главные или грузовые, служащие для подъема полезного ископаемого на шахтах или обслуживающие основные грузопотоки вскрышных пород и полезного ископаемого на карьерах;
- б) вспомогательные (людские и грузолюдские), служащие для подъема и спуска людей, материалов и оборудования, а также для подъема из шахты сопутствующих горных пород;
- в) временные или проходческие, используемые только на период строительства шахтного ствола, а в ряде случаев и для проходки основных выработок околотвального двора.

Расположение относительно земной поверхности. По этому признаку выделяют два типа подъемных установок:

- а) подземные, располагаемые в шахтных стволах;
- б) открытые, располагаемые, как правило, на нерабочих бортах карьеров.

Угол наклона трассы подъемника. По этому признаку подъемные установки подразделяются на два основных типа:

- а) вертикальные, которые имеют преимущественное применение при подземной разработке месторождений и размещаются в вертикальных шахтных стволах;
- б) наклонные, размещаемые на бортах карьеров или в наклонных шахтных стволах.

Среди наклонных подъемных установок особо выделяют крутонаклонные с углом наклона трассы 60° и более, а также пологие, угол наклона трассы которых не превышает 25° .

Тип подъемного сосуда. Этот признак в большой степени определяет характер взаимодействия канатного подъема с другими звеньями транс-портного комплекса горного предприятия, а также вид погрузочно-разгрузочных операций на стыках транспортных звеньев. По этому признаку различают три типа подъемных установок:

- а) клетевые;
- б) скиповые;
- в) бадьевые.

При клетевом подъеме погрузочно-разгрузочные операции заключаются в простом обмене груженых и порожних транспортных сосудов (вагонеток, автосамосвалов) на перегрузочных пунктах.

При скиповом подъеме перегрузка горной массы из средств приза-бойного транспорта в скипы выполняется, как правило, через посредство бункеров, так же, как и разгрузка скипов на поверхности. Использование перегрузочных бункеров достаточно большой вместимости обеспечивает относительную независимость работы канатного подъема во взаимодействии с другими звеньями транспортного комплекса. Однако при этом имеет место увеличение общей высоты подъема, а также необходимы дополнительные капитальные затраты, связанные с сооружением бункеров.

Бадьи как подъемные сосуды используются только на проходческих подъемных установках при строительстве шахтных стволов.

Количество подъемных сосудов, приводимых в движение одной подъемной машиной.

По этому признаку подъемные установки можно подразделить на три типа:

- а) двухсосудные, которые предполагают приведение в движение од-новременно двух сосудов одной подъемной машиной (груженный сосуд поднимается, порожний в это же время опускается);
- б) однососудные без противовеса, когда подъемная машина приводит в движение одну ветвь каната с присоединенным к нему подъемным сосудом (рис.1.1, а);
- в) однососудные с противовесом, в которых к концу одной из двух ветвей канатов вместо сосуда подвешивается противовес (рис. 1.1, б).

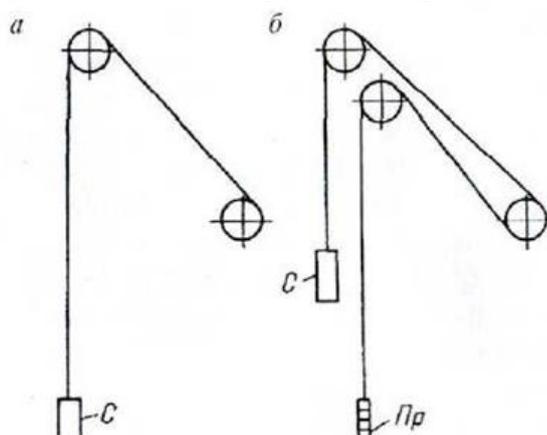


Рис. 1.1. Схемы подъемных установок: а - однососудной; б - однососудной с противовесом

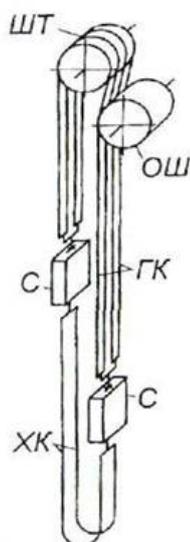


Рис. 1.2. Схема многоканатной подъемной установки

Тип канатоведущего органа подъемной машины. По этому признаку, отражающему способ передачи движущего усилия канату, подъемные установки подразделяются на два класса:

а) барабанные, для которых характерна жесткая связь между канатом и навивочным органом (барабаном), а приведение каната в движение производится путем его навивки на поверхность барабана или свивки с указанной поверхности;

б) со шкивами трения, когда канат огибает канатоведущий орган и не связан с ним жестко, а приводится в движение посредством сил трения между поверхностью шкива и поверхностью прижатого к шкиву каната.

В зависимости от формы навивочной поверхности барабаны могут быть постоянного радиуса навивки (цилиндрические барабаны) и переменного радиуса (двойные конические и бицилиндроконические). В свою очередь, шкивы трения подразделяют на одноканатные и многоканатные. В последнем случае подъемный сосуд подвешивается к комплексу из нескольких канатов, приводимых в движение одним многоканатным шкивом трения (рис. 1.2).

Степень загрузки головных канатов действием концевой нагрузки. По этому признаку можно выделить три типа подъемных установок:

а) одноканатные с загруженным головным канатом, когда концевой груз в виде груженого подъемного сосуда полностью воздействует на головной канат, определяя основную долю формируемого в нем тягового усилия;

б) одноканатные с частично разгруженным головным канатом (рис. 1.3), когда в частном случае при помощи уравнительного груза (противовеса) УГ через систему уравнительных шкивов УШ и блока УБ, а также уравнительных канатов УК головной канат разгружается от тягового усилия, примерно равного 40 % от собственного веса подъемного сосуда;

в) многоканатные с концевой нагрузкой, равномерно распределенной между отдельными ветвями комплекта канатов, что достигается за счет соответствующих уравнительных элементов в прицепном устройстве (рис. 1.2).

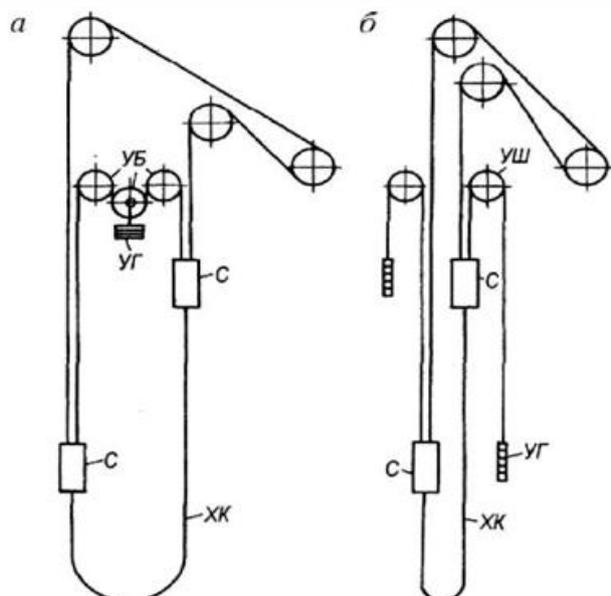


Рис. 1.3. Схемы частичной разгрузки головных канатов: а - статически неуравновешенная система; б - статически уравновешенная система

Степень уравновешенности на валу подъемной машины нагрузок, обусловленных массой элементов подъемной системы. По этому признаку различают подъемные установки трех типов:

а) статически неуравновешенные, или просто неуравновешенные, когда на валу подъемной машины возникает дополнительная нагрузка, обусловленная неуравновешенными

силами собственного веса поднимающейся (навивающейся) и опускающейся (свивающейся) ветвей головных канатов;

б) статически уравновешенные, в которых указанная выше дополнительная нагрузка снимается за счет применения хвостового каната, присоединяемого к днищам подъемных сосудов, или посредством использования навивочных органов (барabanов) переменного радиуса;

в) динамически уравновешенные, в которых крутящий момент, реализуемый приводом на валу подъемной машины, остается постоянным на любом этапе подъема.

Динамическое уравновешивание как способ выравнивания нагрузок на валу подъемной машины и на поверхности навивочных органов впервые был предложен и исследован академиком М.М. Федоровым. В результате упомянутых исследований были разработаны теоретические основы гармонического подъема, суть которого сводится к нижеследующему. Предлагается в двухсосудной подъемной системе использовать так называемый тяжелый хвостовой канат, то есть такой канат, линейная масса которого существенно выше, чем у головного тягового каната. При наличии такого хвостового каната, если соответствующим образом подобрать синусоидальный закон изменения скорости за цикл подъема, можно обеспечить постоянство расчетного тягового усилия на поверхности навивочного органа в течение всей продолжительности подъема сосуда из шахты на поверхность.

3. УСТРОЙСТВО ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Подъемная установка состоит из подъемного оборудования и горно-технических сооружений.

К подъемному оборудованию относятся: подъемные машины, подъемные сосуды и канаты, разгрузочные и загрузочные устройства и др.

К горно-техническим сооружениям относятся:

1) сооружения, расположенные в околоствольном дворе (погрузочный бункер и камера для опрокидывателя при скиповом подъеме или приемная площадка при клетевом подъеме);

2) ствол шахты, оборудованный направляющими проводниками для клеток и скипов при вертикальном подъеме и рельсовыми путями для вагонеток и скипов при наклонном подъеме;

3) надшахтные сооружения, состоящие из копра и приемного бункера для разгрузки подъемных сосудов; при оборудовании подъема неопрокидными клетями вместо приемного бункера сооружается надшахтное здание с приемными площадками и откаточными путями.

На рис.1.4 показаны схемы подъемных установок для вертикальных стволов.

Над стволом шахты устанавливается надшахтный копер 1, на верхней площадке которого укреплены два направляющих (копровых) шкива 2. Подъем и спуск клеток 3 (рис.1.4, а) и скипов 4 (рис.1.4, б) производится подъемной машиной 5, находящейся в отдельном здании 6, расположенном на расстоянии 20 - 40 м от копра. Подъемные канаты 7 перекинуты через направляющие шкивы и одним концом прикреплены к барабану подъемной машины, а другим - к шахтной клетке или скипу.

При вращении барабана подъемной машины один канат навивается на него, поднимая клетку из шахты, а другой свивается, опуская вторую клетку в шахту. Подъемные сосуды одновременно загружаются в шахте и разгружаются на поверхности на специальных приемных площадках.

В подъемных установках, оборудованных неопрокидными клетями, груженные вагонетки на нижней приемной площадке вкатываются в клетку, выталкивая из нее порожние вагонетки, и поднимаются по стволу до верхней приемной площадки в надшахтном здании, где груженные вагонетки выкатываются из клетки, а порожние вагонетки вкатываются в нее. Затем процесс обмена вагонеток на приемных площадках повторяется.

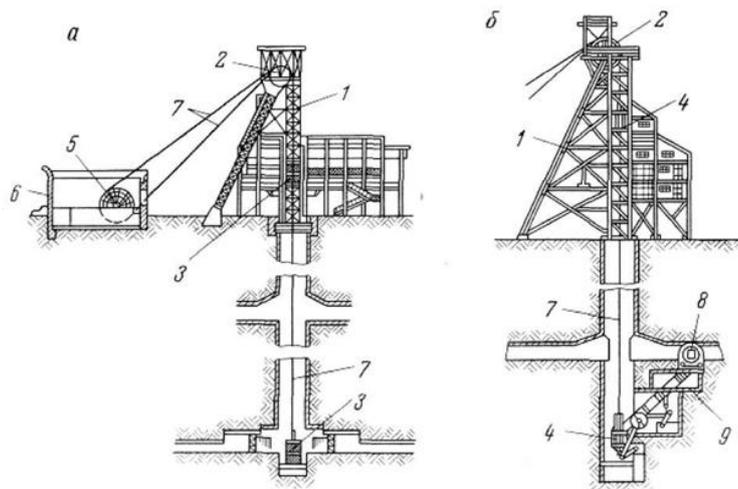


Рис. 1.4. Схемы подъемных установок для вертикальных стволов: *а* - клетевой; *б* - скиповой; 1 - надшахтный копер; 2 - копровые шкивы; 3 - клеть; 4 - скип; 5 - подъемная машина; 6 - здание подъемной машины; 7 - подъемные канаты; 8 - опрокид; 9 - загрузочное устройство

В подъемных установках, оборудованных скипами, груженные вагонетки разгружаются в околоствольном дворе при помощи опрокидывателя 8 в загрузочное устройство 9, откуда уголь загружается в скипы. Затем скипы поднимаются по стволу на поверхность и в надшахтном здании автоматически разгружаются в разгрузочное устройство. Скипы так же, как и клетки, движутся в стволе по направляющим проводникам.

Околоствольные сооружения наклонной скиповой подъемной установки состоят из камеры опрокидывателя и загрузочного бункера с затвором. Скипы движутся по наклонному стволу, а на поверхности - по эстакаде или станку копра. На поверхности скип входит в разгрузочные кривые и разгружается в приемный бункер. Опорой наклонной эстакады служит металлическая ферма с укрепленными на ней направляющими шкивами. Подъемная машина находится в отдельном здании.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Конструкции и устройство подъемных установок.
2. Конструкции, основные детали и узлы скиповой подъемной установки.
3. Способы частичной разгрузки головных канатов.
4. Классификация подъемных установок.
5. Назначение подъемной установки.
6. Расположение подъемных установок относительно земной поверхности. По этому признаку выделяют два типа.
7. Угол наклона трассы подъемника.
8. Тип подъемного сосуда.
9. Тип канатоведущего органа подъемной машины.
10. Схемы частичной разгрузки головных канатов.
11. Степень уравновешенности на валу подъемной машины.
12. Какой принцип был предложен и исследован академиком М.М. Федоровым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов А.П. Стационарные машины. Расчет водоотливных установок горнодобывающих предприятий : учеб. пособие / А. П. Абрамов. – Кемерово, 2012. – 200 с
2. Бизенков, В. Н. Стационарные машины. Расчет шахтных вентиляторных установок : учеб. пособие / В. Н. Бизенков. – Кемерово, 2005. – 68 с.

Исходные данные по вариантам для практической работы №№ 2, 4

№	Глубина горизонта $H_{ш}$, м	Приток воды, м ³ /ч		Время максимального притока $t_{д.м.}$, дн.	Требуемая производительность вентилятора Q_v , м ³ /с	Депрессия, даПа		Годовая производительность $A_{г}$, млн. т
		нормальный Q_n	максимальный Q_{max}			минимальная h_{min}	максимальная h_{max}	
1	2	3		4	5		6	
1	100	90	150	35	130	120	200	0,8
2	120	120	180	35	40	150	250	0,9
3	140	150	210	35	50	160	250	1,0
4	160	180	240	35	60	160	260	1,1
5	180	210	270	35	60	170	260	1,2
6	200	240	300	40	70	170	270	1,3
7	220	270	330	40	70	180	270	1,4
8	240	300	390	40	80	180	280	1,5
9	260	330	420	40	80	150	250	1,6
10	280	360	450	40	90	150	250	1,7
11	300	390	480	45	90	140	240	1,8
12	320	420	510	45	100	130	240	1,9
13	340	450	540	45	110	150	250	2,0
14	360	480	570	45	120	160	250	0,8
15	380	510	600	45	130	170	250	0,9
16	400	540	660	50	140	150	250	1,0
17	420	570	690	50	150	150	200	1,1
18	440	600	720	50	160	140	210	1,2
19	460	630	750	50	180	160	250	1,3
20	480	660	780	50	200	150	240	1,4
21	500	690	810	52	220	170	240	1,5
22	520	720	820	52	240	180	250	1,6
23	540	750	850	52	260	160	260	1,7
24	560	780	880	52	300	150	230	1,8
25	580	810	910	52	320	140	240	1,9

Составитель
Ещеркин Павел Васильевич

СТАЦИОНАРНЫЕ УСТАНОВКИ
Фонд оценочных средств для студентов всех форм обучения
специальности 20.03.01 «Техносферная безопасность»,
специализация «Безопасность технологических процессов и производств»

Печатается в авторской редакции