

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
СУМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.Ф. Герман

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
ПО КУРСУ
«НАДЕЖНОСТЬ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ
ГИДРО- И ПНЕВМОМАШИН»
для студентов специальности 7.090209
«Гидравлические и пневматические машины»
заочной формы обучения

СУМЫ ИЗД-ВО СУМГУ 2005

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Надёжность и эксплуатация гидро- и пневмомашин» является одним из обязательных курсов при подготовке студентов по специальности «Гидравлические и пневматические машины». Информация по надёжности и эксплуатации гидро- и пневмомашин в настоящее время разрознена и нет единого учебника по дисциплине.

Цель данного конспекта лекций – помочь студентам заочного отделения освоить необходимый объём знаний по указанной дисциплине и уменьшить время на самостоятельную подготовку. Конспект лекций написан в предельно сжатой форме и охватывает основные темы курса. В нём рассмотрены: система показателей надёжности машин; надёжность систем; метод структурных схем надёжности; основные пути повышения надёжности; метод резервирования; испытания на надёжность; эксплуатация насосов; монтаж и эксплуатация насосных установок; особенности эксплуатации некоторых специальных насосов и пневматических машин. Конспект сопровождается конкретными примерами. После изучения данного конспекта дополнительные знания студент может получить из рекомендуемой литературы.

РАЗДЕЛ 1 НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

1 НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

1.1 Система показателей надежности машин. Количественные показатели надежности. Показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости

Надежность – свойство машины выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели, в заданном интервале времени.

Или кратко – это способность машины не отказывать в процессе работы.

Процесс эксплуатации машины протекает при тех или иных условиях. В одних условиях машина может быть надёжна, в других – не обеспечивает требуемой надежности. Таким образом, надёжность проявляется как качество, которым обладает машина. Однако качество подвержено изменению во времени, т.е. машина может перейти из надежного в ненадежное состояние.

Уровень надежности машины характеризуется количественными показателями. Это вероятностные характеристики. Для характеристики надежности применяют показатели, характеризующие отдельные свойства – количественные показатели или совокупность свойств – комплексные показатели.

Количественные показатели: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Безотказность – свойство машины сохранять работоспособность в течение некоторого времени (обычно до первого отказа).

Долговечность – свойство машины сохранять работоспособность до предельного состояния.

Ремонтпригодность – свойство машины, которое характеризует приспособленность машины к предупреждению, обнаружению и устранению её отказов.

Сохраняемость – свойство машины сохранять работоспособность в процессе хранения и транспортирования.

Рассмотрим количественные показатели надежности.

Показатели безотказности

1 *Вероятность безотказной работы* $P(t)$ – вероятность того, что в заданном интервале t не возникнет отказа машины:

$$P(t) = \frac{N_p}{N} = \frac{N - n}{N}, \quad (1.1)$$

где N – общее количество изделий; N_p – количество работоспособных изделий; n – количество отказавших изделий.

2 *Наработка машины до отказа* – продолжительность работы её до первого отказа.

3 *Средняя наработка на отказ*

$$t_{cp} = \frac{\sum t_i}{N}, \quad (1.2)$$

где t_i – время работы до отказа i -й машины; N – общее количество машин.

4 *γ -Процентная наработка до отказа* – это наработка, в течение которой отказ машины не возникнет с вероятностью γ . Она выражается в процентах.

Пример. Если вероятность безотказной работы равна $P(t) = 0,95$, то это время является 95% наработкой машины до отказа.

5 *Плотность распределения отказов*

$$f(t) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (1.3)$$

где Δn – количество отказавших машин за время Δt .

6 *Интенсивность отказов* – условная плотность вероятности возникновения отказа:

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_p \cdot \Delta t}, \quad (1.4)$$

где N_p – количество работоспособных машин.

Применительно к невосстанавливаемым изделиям можно использовать формулу

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (1.5)$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ зависит от времени и носит «ваннообразный» характер.

Изменение $\lambda(t)$ во времени имеет три характерных участка. Участок $0 - t_1$ – период приработки машин, когда интенсивность их отказов уменьшается. В этот период появляются конструктивные, технологические и производственные дефекты. Для устранения отказов после сборки машины необходимо провести её обкатку. Участок $t_1 - t_2$ – период нормальной эксплуатации машины. Интенсивность отказов на нём устанавливается приблизительно постоянной и определяется случайными, в основном внезапными отказами. Участок $t > t_2$ – интенсивность отказов увеличивается из-за необратимых физико-химических процессов в элементах машины, связанных с её длительной эксплуатацией. Механизм отказов на этом участке связан с изнашиванием и старением машины (рис. 1.1).

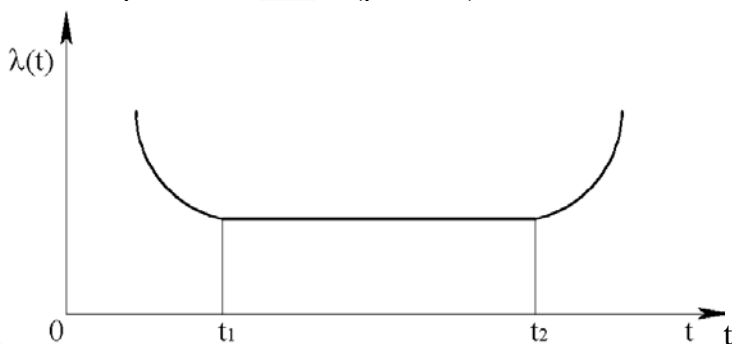


Рисунок 1.1 – Изменение интенсивности отказов машин:

$0 - t_1$ – время приработки; $t_1 - t_2$ – время нормальной эксплуатации;
 $t > t_2$ – период изнашивания и старения

7 *Параметр потока отказов* – отношение среднего числа отказов восстановленных машин к суммарной их наработке:

$$\omega(t) = \frac{n}{\Sigma t_i}. \quad (1.6)$$

Показатели долговечности

Показатели долговечности оценивают потерю работоспособности машины за весь период её эксплуатации, т. е. до наступления её предельного состояния. Признак предельного состояния устанавливается нормативно-технической документацией. К основным показателям оценивания долговечности машины относят:

1 *Средний ресурс* – наработка машины от начала её эксплуатации до перехода в предельное состояние. Ресурс выражается в единицах времени, обычно в часах:

$$T_{pcp} = R_{cp} = \frac{1}{N} \cdot \Sigma R_i, \quad (1.7)$$

где R_i - ресурс i -й машины в часах.

2 *γ -Процентный ресурс* – наработка, в течение которой машина не достигнет предельного состояния. Выражается в процентах.

3 *Средний срок службы* – средняя календарная наработка машины до предельного состояния, выраженная в годах:

$$T_{pcp} = \frac{1}{N} \cdot \Sigma T_i, \quad (1.8)$$

где T_i – срок службы i -й машины, лет.

Показатели ремонтпригодности

1 *Вероятность восстановления* – вероятность того, что время восстановления не превысит заданного.

2 *Среднее время восстановления*

$$T_{cpв} = \frac{\Sigma t_{ie}}{N}, \quad (1.9)$$

где t_{iv} – время восстановления i -й машины; N – количество машин.

Показатели сохраняемости

1 Средний срок сохраняемости

$$T_{срсохр} = \frac{\sum t_{iсохр}}{N}, \quad (1.10)$$

где $t_{iсохр}$ – срок сохраняемости i -й машины.

2 γ -Процентный срок сохраняемости – срок сохраняемости с заданной вероятностью γ . Выражается в процентах.

1.2 Комплексные показатели надежности

Рассмотренные единичные показатели надёжности относятся к одному из свойств, составляющих надёжность машины. Комплексный показатель надёжности – показатель, относящийся к нескольким свойствам, составляющим надёжность машины. К основным комплексным показателям относят:

1 Коэффициент готовности K_G – вероятность того, что машина окажется работоспособной в произвольный момент времени:

$$K_G = \frac{\sum t_i}{N \cdot T_{эк}}, \quad (1.11)$$

где t_i – суммарное пребывание i -й машины в работоспособном состоянии; N – количество машин; $T_{эк}$ – продолжительность эксплуатации, состоящая из последовательно чередующихся интервалов времени работы и восстановления.

В случае немедленного восстановления машины

$$K_G = \frac{T_o}{T_o + T_e}, \quad (1.12)$$

где T_o – средняя наработка на отказ; T_e – среднее время восстановления.

Коэффициент K_G характеризует два свойства: безотказность и ремонтпригодность.

2 Коэффициент технического использования $K_{ТИ}$ – отношение времени пребывания машины в работоспособном состоянии к сумме этого времени, времени технического обслуживания и времени ремонтов за тот же период эксплуатации:

$$K_{ТИ} = \frac{T_0}{T_0 + T_B + T_{ТИ}}, \quad (1.13)$$

где T_0 – время работоспособного состояния; T_B – время восстановления; $T_{ТИ}$ – время технического использования.

1.3 Определение и классификация отказов

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособности машины. Для каждой машины признаки отказов устанавливаются технической документацией.

Отказы классифицируются по различным признакам: причинам возникновения, характеру проявления, степени влияния и др. Рассмотрим основные из них:

1 *Отказы по причинам возникновения:*

а) *конструкционные* – обусловлены ошибками при проектировании, нарушением требований ГОСТов, занижением запаса прочности и т.д.;

б) *производственные* – вызваны нарушением технологии изготовления, несоблюдением требований сборки, применением некачественных материалов и т. д.;

в) *эксплуатационные* – являются следствием нарушения условий работы, различных повреждений, несоблюдением правил эксплуатации, низкой квалификацией обслуживающего персонала, естественным старением машины и т. д.

2 *Отказы по характеру проявления:*

а) *внезапные* – характеризуются резким, скачкообразным изменением параметров машины;

б) *постепенные* – являются следствием необратимых явлений: усталости, износа и др.

К внезапным отказам можно отнести: разрушение элементов конструкции, потерю герметичности и др.

3 *Отказы по степени влияния на работоспособность:*

а) *полные* – происходит срыв параметров машины;
б) *частичные* – снижаются параметры и эффективность работы машины.

Для машин, выполняющих ответственные функции, отказы делятся на опасные и безопасные.

1.4 Надежность машин в период проявления внезапных и постепенных отказов

1.4.1 Надежность в период проявления внезапных отказов

Причина возникновения внезапного отказа связана с изменением состояния машины.

Для оценки отказов применяются интенсивность отказов $\lambda(t)$. Так как отказы не зависят от состояния (наработки) машины, то $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$.

Вероятность безотказной работы при этом подчиняется экспоненциальному закону и определяется по формуле

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}. \quad (1.14)$$

Среднюю наработку на отказ и интенсивность отказов вычисляют по формулам:

$$T_{CP} = \frac{1}{N} \cdot \sum t_i, \quad (1.15)$$

$$\lambda = \frac{1}{T_{CP}}. \quad (1.16)$$

Графические зависимости распределения параметров надёжности показаны на рис. 1.2.

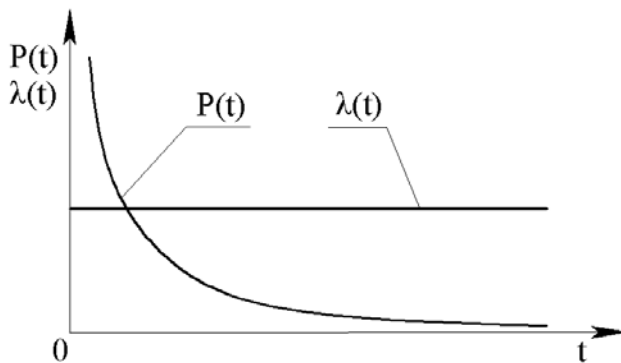


Рисунок 1.2 – Распределение параметров надёжности при внезапных отказах

1.4.2 Надёжность в период проявления постепенных отказов

При постепенных (износowych) отказах для характеристики параметров надёжности применяются несколько законов, но наиболее универсальным и широко применяемым является нормальный закон. Вероятность безотказной работы определяется общей формулой:

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - Q(t), \quad (1.17)$$

где $F(t)$ – функция распределения срока службы.

$$\text{Поскольку } Q(t) = F(t) = \int_0^t f(t)dt, \text{ то } P(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt.$$

Плотность распределения имеет вид

$$f(t) = \frac{1}{S \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - t_{cp})^2}{2 \cdot S^2}}, \quad (1.18)$$

где S – среднеквадратическое отклонение

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum (t_i - t_{cp})^2}. \quad (1.19)$$

Среднее значение наработки

$$t_{cp} = \frac{\sum t_i}{N}. \quad (1.20)$$

Для вычисления функции $f(t)$ используют квантиль нормального распределения:

$$U_p = \frac{t - t_{cp}}{S}. \quad (1.21)$$

Графическая зависимость параметров надёжности при нормальном распределении показана на рис. 1.3.

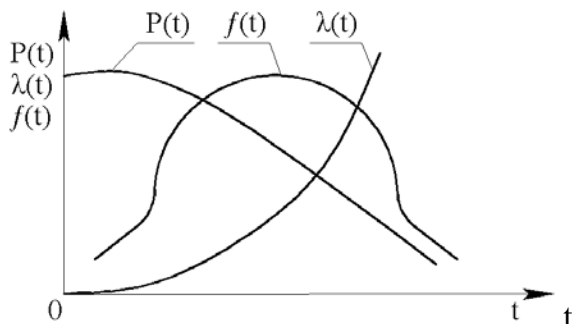


Рисунок 1.3 – Распределение параметров надёжности при постепенных отказах

1.4.3 Одновременное проявление внезапных и постепенных отказов

Во время работы машины ее элементы подвержены как внезапным, так и постепенным отказам. В начале эксплуатации проявляются внезапные, а потом уже постепенные отказы.

При совместном действии этих отказов вероятность безотказной работы определяется по теореме умножения вероятностей

$$P(t) = P_{вн}(t) \cdot P_{пост}(t). \quad (1.22)$$

Для вероятностной характеристики отказов применяют закон распределения Вейбулла.

Графическая зависимость изменения вероятности безотказной работы $P(t)$ показана на рис. 1.4

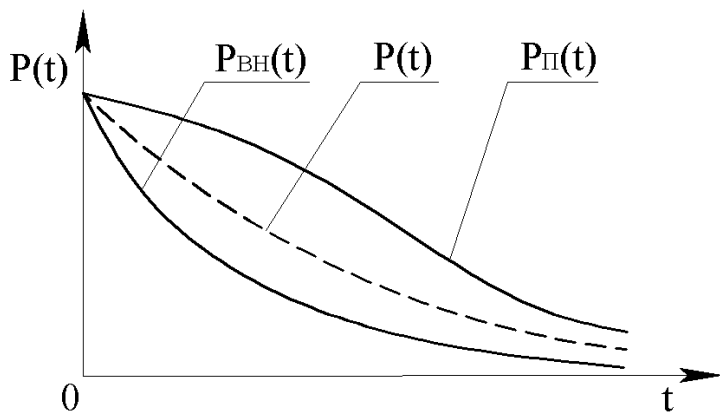


Рисунок 1.4 – Вероятность безотказной работы при совместном действии отказов

2 НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ

2.1 Гидравлическая машина как система. Определение показателей надежности систем методом структурных схем надежности

Надежность большинства машин в технике определяется при рассмотрении их как систем. Сложные системы делятся на подсистемы. Для расчета показателей надежности системы необходимо провести анализ условий эксплуатации и конструкции машины. При анализе выделяются факторы, приводящие к её отказу. Рассмотрим на примере насоса.

Анализ конструкции насоса заключается в рассмотрении работоспособности его элементов и проводится одновременно с анализом условий эксплуатации. При анализе конструкции насоса выявляются элементы, лимитирующие его надежность.

Лимитирующий надежность элемент – это элемент, из-за которого может возникнуть отказ насоса в пределах заданной наработки (рабочее колесо, вал, корпус, концевое уплотнение и т.д.)

Выделенные в результате анализа элементы объединяются в структурную схему надежности. По ней составляется математическая модель расчета надежности.

Рассмотрим основные виды соединений в структурных схемах надёжности.

1 Последовательное соединение

Схематично последовательное соединение показано на рис. 2.1.

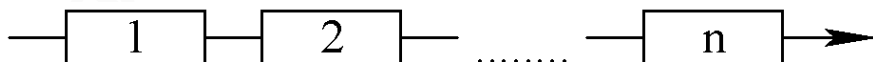


Рисунок 2.1 – Последовательное соединение элементов

При последовательном соединении отказ одного элемента ведет к отказу всей машины.

Вероятность безотказной работы определяется произведением вероятностей безотказной работы элементов:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (2.1)$$

где P_i – вероятность безотказной работы i -го элемента; n – количество элементов.

2 Параллельное соединение

При параллельном соединении отказ системы наступает тогда, когда откажут все её элементы.

Схематично параллельное соединение элементов показано на рис. 2.2.

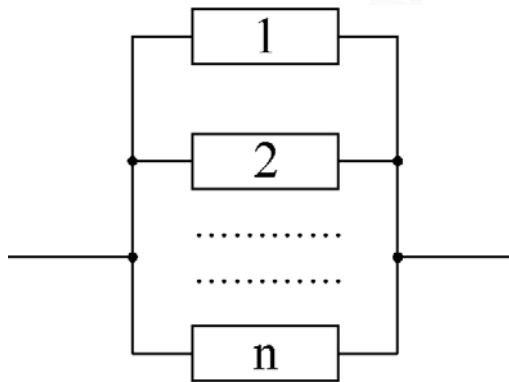


Рисунок 2.2 – Параллельное соединение элементов

Вероятность безотказной работы в этом случае определяется по формуле

$$P(t) = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot \dots \cdot (1 - P_n), \quad (2.2)$$

или

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i). \quad (2.3)$$

2.2 Порядок расчета системы на надежность

Расчет системы на надежность проводится в следующем порядке:

1 Провести анализ конструкции машины и определить состав элементов, влияющих на ее надежность (лимитирующие элементы).

2 Установить взаимосвязь элементов в структурной схеме надёжности.

3 Построить структурную схему надежности.

4 Составить математическую модель расчета (зависимость $P(t)$).

5 Вычислить количественные характеристики надежности: вероятность безотказной работы $P(t)$, среднюю наработку на отказ T_{cp} , интенсивность отказов $\lambda(t)$ и др.

Средняя наработка на отказ определяется по формуле

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt . \quad (2.4)$$

Для определения значения средней наработки T_{cp} строится зависимость $P(t) = f(t)$ и интегрируется площадь под кривой $P(t)$ (рис. 2.3). Значение площади можно определить расчётом на ЭВМ.

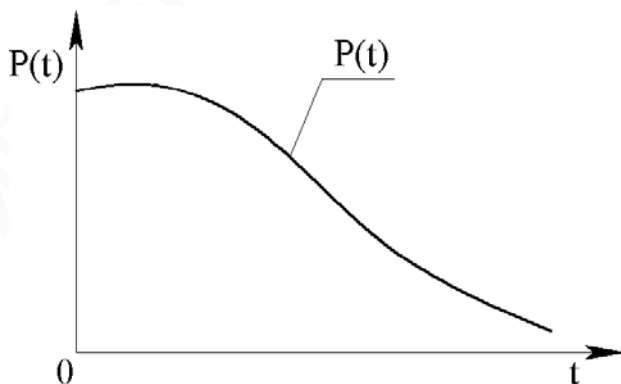


Рисунок 2.3 – Вероятность безотказной работы машины

Пример. Определить вероятность безотказной работы системы, если вероятность безотказной работы элементов составляет: 1-0,99; 2-6 – 0,9; 7-8 – 0,95.

Структурная схема надёжности системы приведена на рис. 2.4.

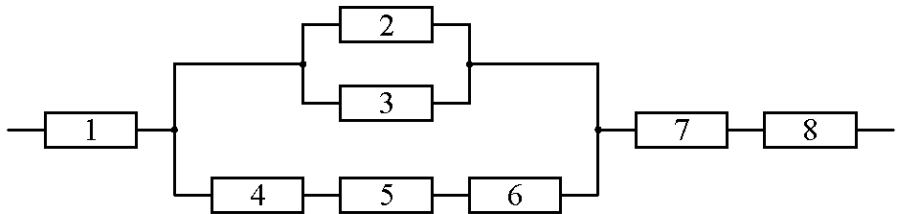


Рисунок 2.4 – Структурная схема системы

Решение. Вероятность безотказной работы с учётом формул (2.1) и (2.2):

$$P(t) = P_1 \cdot P_{2-6} \cdot P_7 \cdot P_8;$$

$$P_{2-3} = 1 - (1 - P_2)(1 - P_3) = 1 - (1 - 0,9)^2 = 0,99;$$

$$P_{4-6} = P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 = 0,9^3 = 0,729;$$

$$P_{2-6} = 1 - (1 - P_{2-3})(1 - P_{4-6}) = 1 - (1 - 0,99)(1 - 0,729) = 0,99729;$$

$$P(t) = 0,99 \cdot 0,99729 \cdot 0,95 \cdot 0,95 = 0,891.$$

3 ОСНОВНЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МАШИН

3.1 Основные направления повышения надежности машин

Существуют три пути повышения надежности:

1 Повышение сопротивляемости машин внешним воздействиям. Это направление объединяет все новейшие достижения в области конструирования и технологии. Сюда относится создание износостойких узлов за счет применения высокопрочных материалов. Однако абсолютно износостойких материалов нет, поэтому возможности сопротивления внешним воздействиям остаются ограниченными.

2 Изоляция машин от вредных воздействий путем установки их на виброизоляционный фундамент, защита их от запыленности, создание специальных температурных условий, влажности и др. Сюда же следует отнести применение рациональных методов ремонта и обслуживания машин.

Изоляция машин повышает работоспособность, но при этом остаются внутренние возмущения.

3 Применение принципа саморегулирования. Машина при помощи специальных устройств автоматически восстанавливает утраченные свойства и реагирует на внешние возмущения. Это направление имеет практически неограниченные возможности по повышению надежности и долговечности.

3.2 Конструктивные, технологические и эксплуатационные способы повышения надежности

Рассмотрим отдельную гидравлическую машину. Необходимо определить конструктивные, технологические и эксплуатационные способы повышения её надежности.

1 Конструктивные способы

Надежность машины определяется главным образом её конструкцией. Для повышения надёжности необходимо:

а) конструирование проводить с учетом анализа лучших отечественных и зарубежных аналогов;

б) использовать стандартизированные и унифицированные узлы и детали, что способствует сокращению номенклатуры деталей, уменьшает их стоимость, упрощает эксплуатацию и ремонт;

г) учитывать внешние условия (предусмотреть защиту от вибрации, ударных нагрузок, влажности, запыленности др.);

д) использовать материалы с высокими механическими характеристиками.

2 Технологические способы

Машина должна изготавливаться с учетом применения современных прогрессивных технологий. Рациональный выбор технологии изготовления обеспечивает повышение физико-механических свойств материалов. К основным направлениям в технологии, позволяющим повысить надежность, следует отнести:

а) выбор рациональных видов обработки и режимов резания, которые обеспечивают небольшую шероховатость и достаточную микротвердость поверхностного слоя;

б) правильный выбор последовательности технологических операций;

в) обеспечение рациональных способов сборки.

3 Эксплуатационные способы

Эксплуатационные способы могут существенно влиять на срок службы машины. Даже весьма совершенная с конструкторской точки зрения машина при неправильной ее эксплуатации может быстро выйти из строя. Для увеличения надежности машины необходимо:

а) провести обкатку перед эксплуатацией машины;

б) организовать качественное техобслуживание и ремонт;

в) использовать машину на режимах, рекомендуемых технической документацией.

3.3 Повышение надежности методом резервирования. Классификация резервирования

Резервированием называется метод повышения надежности машин включением в систему резервных (запасных) элементов. Резервирование позволяет уменьшить вероятность отказов на несколько порядков. Наиболее широко оно применяется в радиоэлектронике. В машиностроении резервные агрегаты используются при опасности аварии машины.

Примеры: автомобильная система тормозов, двойные шины на задних колесах, 3-4 двигателя в пассажирских самолетах; в насосах - двойная система смазки, двойные уплотнения и др.

Резервирование можно разделить на несколько видов:

а) раздельное резервирование – резервируются только отдельные, наименее надежные элементы;

б) общее резервирование – резервируется объект в целом;

в) постоянное резервирование – основной и все резервные элементы функционируют одновременно;

г) резервирование с замещением – резервные элементы вступают в работу только после отказа основных.

Классификация резервирования показана на рис. 3.1.

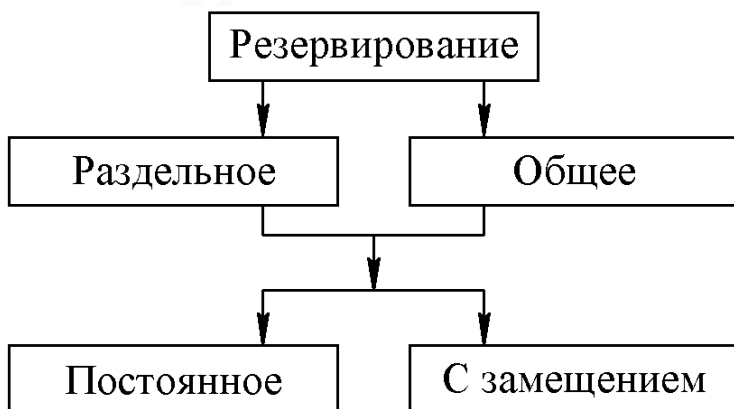


Рисунок 3.1 – Виды резервирования

3.4 Раздельное и общее резервирование, постоянное резервирование и резервирование с замещением

3.4.1 Раздельное резервирование

При раздельном резервировании в технической системе резервируются только отдельные, наименее надежные элементы. Резервные элементы при этом подключены параллельно основным.

Предполагается, что резервные элементы одинаковы и обладают равной вероятностью отказа. При отказе одного элемента нагрузки на оставшиеся возрастают. Схема резервирования показана на рис. 3.2

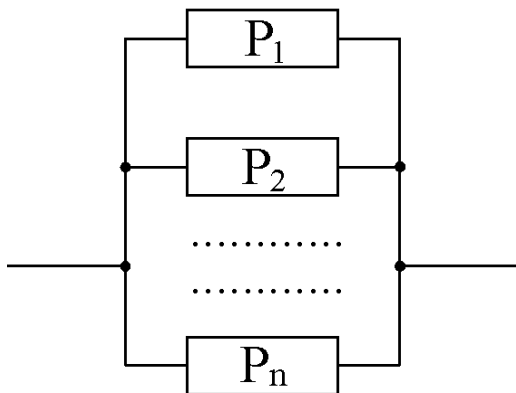


Рисунок 3.2 – Схема раздельного резервирования

Вероятность отказа $Q(t)$ определяется по теореме умножения вероятностей

$$Q(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t) \cdot Q_3(t) \cdot \dots \cdot Q_n(t) = \prod_{i=1}^n Q_n(t). \quad (3.1)$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - Q(t). \quad (3.2)$$

Раздельное резервирование применяется при резервировании подшипников, уплотнений, источников питания и др.

3.4.2 Общее резервирование

При общем резервировании системы основная и резервная подключены параллельно (рис. 3.3).

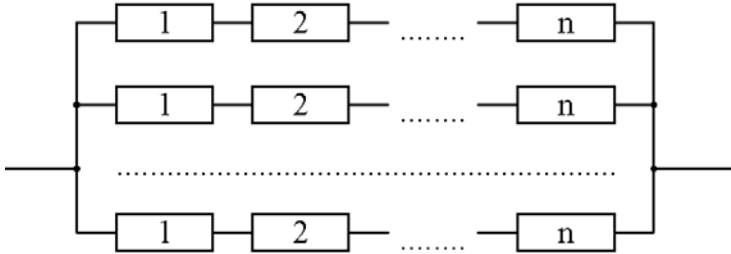


Рисунок 3.3 – Схема общего резервирования

Все элементы основной и резервной систем имеют общий выход. Возможны отказы типа обрыва, короткого замыкания (в насосах - потеря герметичности). Необходимо иметь переключающее устройство и систему контроля работоспособности.

Вероятность безотказной работы системы

$$P_c(t) = 1 - Q_c^m(t). \quad (3.3)$$

Пример. Система состоит из 4 последовательно соединенных элементов. Вероятность безотказной работы каждого элемента - $P_i = 0,9$. Для повышения надежности к ней подключена еще одна параллельная система (рис. 3.4). Определить вероятность безотказной работы $P(t)$ резервированной системы.

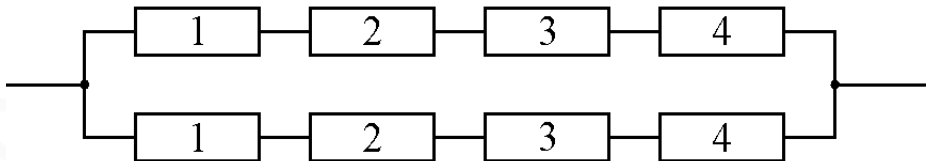


Рисунок 3.4

Решение. Вероятность безотказной работы отдельной и общей резервированной систем определяем, используя формулы (2.1), (3.2), (3.3):

$$P(t) = P_1^4 = 0,9^4 = 0,65;$$

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,65 = 0,35;$$

$$P_c(t) = 1 - Q^2(t) = 1 - 0,35^2 = 0,88.$$

3.4.3 Постоянное резервирование

При постоянном резервировании элементы подключаются параллельно (рис. 3.5).

Вероятность отказа всех элементов

$$Q_c(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t) \cdot Q_3(t) \cdot \dots \cdot Q_n(t). \quad (3.4)$$

Примечание. В системах с параллельным соединением перемножаются вероятности отказа Q , с последовательным соединением – вероятности безотказной работы P

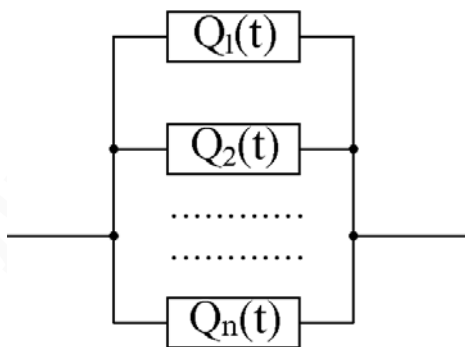


Рисунок 3.5 – Схема постоянного резервирования

3.4.4 Резервирование с замещением

В этом случае резервные элементы включаются параллельно только при отказе основных (рис. 3.6). Это включение может производиться автоматически или вручную.

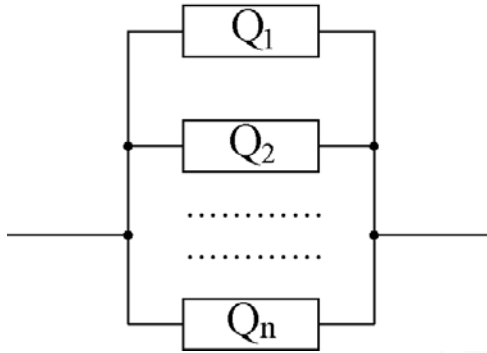


Рисунок 3.6 – Схема резервирования с замещением

При высокой надежности элементов вероятность отказа системы будет равна

$$Q_c(t) = \frac{\prod_{i=1}^n Q_i(t)}{n!}. \quad (3.5)$$

Формула справедлива при условии, что переключение абсолютно надежно. При этом вероятность отказа в $n!$ раз меньше, чем при постоянном резервировании. Если переключение недостаточно надежно, то выигрыш может быть легко утерян.

4 ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ

4.1 Контрольные и определительные испытания на надежность

Расчетные методики оценки надежности разработаны не для всех деталей машин, поэтому их надежность и надежность машин в целом оценивают по результатам испытаний.

По полученным результатам для невозстанавливаемых изделий оценивают вероятность безотказной работы $P(t)$, а для восстанавливаемых – среднюю наработку на отказ $T_{\text{оср}}$ и среднее время восстановления $T_{\text{всп}}$.

Испытания насосов на надежность проводят в соответствии с ГОСТом 6134-87 "Насосы динамические. Методы испытаний".

Различают следующие виды испытаний на надежность:

- а) контрольные;
- б) определительные;
- в) исследовательские.

Контрольные испытания проводятся с целью установления показателей надежности насосов или их элементов, которые должны быть не ниже, указанных в технической документации.

Контрольным испытаниям подвергаются:

- опытные насосы;
- насосы индивидуального производства;
- насосы серийного производства при внесении изменений в конструкцию или технологию изготовления;
- элементы насосов.

Контрольные испытания проводятся на месте эксплуатации (подконтрольная эксплуатация) или на стенде предприятия-изготовителя. Испытательные стенды изготавливаются в соответствии с ГОСТом 6134-87. Испытания проводятся на натурной жидкости или на воде, если процессы изнашивания не зависят от свойств жидкости.

Программа испытаний должна включать:

- а) обмеры, сборку, техническую экспертизу перед началом и в конце испытаний;
- б) обкатку;
- в) предварительную проверку работоспособности;
- г) испытания в период установленной наработки;
- д) оценку результатов испытаний.

В процессе испытаний фиксируются отказы насосов:

- а) *по параметрическому признаку*: изменение подачи, напора, к.п.д. и др.;
- б) *по функциональному признаку*: увеличение износа, вибрации, утечки, изменение зазоров и др.

При испытаниях фиксируются следующие параметры:

- внешние утечки;
- напорные и энергетические характеристики;
- уровни шума и вибрации;
- температура жидкости, подшипников и другие параметры согласно программе; контроль параметров производится от 5 до 8 раз.

Определительные испытания проводятся с целью получения фактических показателей надежности. Им подлежат первые насосы серийного производства. При этом устанавливается зависимость параметров, характеризующих работоспособность, от времени.

Наиболее рациональной является подконтрольная эксплуатация.

Количество насосов, подвергаемых испытаниям, определяется в соответствии с ГОСТом. На испытания устанавливается насос с наиболее нагруженными элементами.

Испытательный стенд должен быть оснащен необходимыми средствами контроля.

При испытаниях проводят четыре вида контроля:

- а) постоянный (2 раза в смену);
- б) периодический с занесением в журнал (не менее 5 замеров между отказами);
- в) периодический при остановках (замеряют люфт, температуру обмоток электродвигателя);

г) контроль при разборках – измеряют износ элементов насоса.

Испытания продолжаются до момента возникновения потребности в капитальном ремонте. При испытаниях проводятся разборка, демонтаж и восстановление деталей.

Исследовательские испытания имеют разные цели. В основном это испытания на надежность различных вариантов конструкций насоса или его элементов, материала гидропята, рабочего колеса и др.

4.2 Оценка результатов испытаний

Материал для оценки результатов испытаний получают при обработке журналов наблюдений за N одинаковыми насосами.

Для нахождения показателей надежности выполняются предварительные расчеты опытной средней наработки на отказ, среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации.

1 Опытная средняя наработка на отказ T_{cp}

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{m}, \quad (4.1)$$

где m – общее число отказов; t_i – наработка на очередной отказ, ч.

2 Опытный средний ресурс

$$R_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N R_i}{N}, \quad (4.2)$$

где R_i – ресурс i -го насоса; N – количество насосов.

3 Опытные среднеквадратические отклонения наработки и ресурса:

$$S_T = \sqrt{\frac{1}{m-1} \cdot \sum_{i=1}^m (t_i - T_{cp})^2}, \quad S_R = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (R_i - R_{cp})^2}. \quad (4.3)$$

4 Опытные коэффициенты вариации наработки и ресурса:

$$V_{OП}^T = \frac{S_T}{T_{cp}}, \quad V_{OП}^R = \frac{S_R}{R_{cp}}. \quad (4.4)$$

Дальнейшие расчеты показателей надежности проводят в зависимости от коэффициента вариации V : при $V \leq 0,35$ принимают нормальное распределение; при $V > 0,35$ – распределение Вейбулла.

Далее рассчитываются вероятность безотказной работы $P(t)$, интенсивность отказов $\lambda(t)$ и другие показатели.

РАЗДЕЛ 2 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГИДРО- И ПНЕВМОМАШИН

5 ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАСОСОВ

5.1 Насосная установка и ее оборудование

Схема насосной установки изображена на рисунке 5.1.

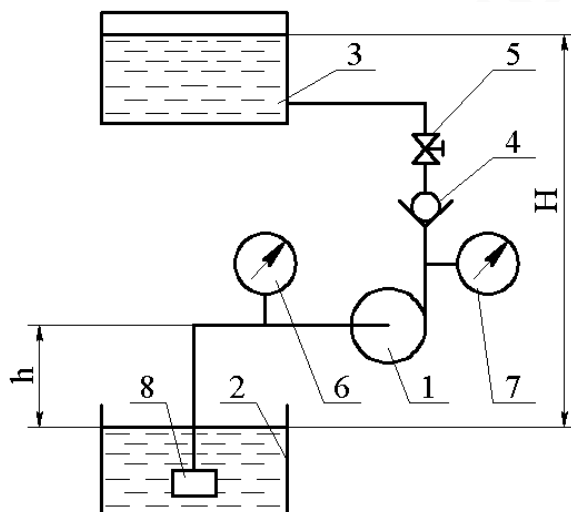


Рисунок 5.1 – Схема насосной установки:

1 – насос; 2 – приемный резервуар; 3 – напорный резервуар; 4 – обратный клапан; 5 – задвижка; 6, 7 – приборы давления (вакуумметр и манометр);
8 - приемный клапан с сеткой

Насосная установка состоит из насосного агрегата, приёмного и напорного резервуаров, трубопровода и контрольно-измерительных приборов.

В состав насосного агрегата входят насос и двигатель, установленные на общей фундаментной плите. Всасывающий и напорный трубопроводы установки оборудуются запорной, предохранительной и регулирующей арматурой, а также контроль-

но-измерительными приборами, обеспечивающими работу насосной установки в заданном режиме.

Приёмный клапан с сеткой предназначен для удержания воды во всасывающем трубопроводе при заливке насоса перед его пуском. Кран для выпуска воздуха устанавливают в верхней части корпуса насоса. Задвижку на всасывающем трубопроводе устанавливают в тех случаях, когда насос находится под давлением.

Обратный клапан предотвращает обратный ток жидкости из бака. Наличие клапана позволяет держать задвижки резервного насоса открытыми и запускать его немедленно. Задвижка на напорном трубопроводе предназначена для регулирования подачи насоса. Вакуумметром определяют разрежение на всасывающем трубопроводе, манометром – давление на нагнетательном трубопроводе.

5.2 Виды насосных установок

По способу включения в работу все насосные установки можно разделить на три основные группы:

- а) с насосами, находящимися под заливом;
- б) с самовсасывающими насосами;
- в) с насосами, требующими заливки.

Перед пуском производят заливку насоса с целью заполнения его и всасывающего трубопровода жидкостью и вытеснения из них воздуха.

Схемы заливки:

- а) заливка с применением инжектора;
- б) заливка от напорного трубопровода;
- в) автоматическая заливка от бачка;
- г) заливка вакуум-насосом;
- д) заливка при помощи вспомогательного насоса.

Перед пуском залитого тем или иным способом насоса нужно открыть кран манометра и включить электродвигатель. При этом задвижка на напорном трубопроводе остаётся закрытой. После того, как насос разовьет требуемую частоту враще-

ния и создаст соответствующее давление, следует открыть кран вакуумметра и кран подачи воды к уплотнению. Затем открыть задвижку на напорном трубопроводе.

5.3 Работа насоса на сеть

5.3.1 Характеристика насосной установки

Насосная установка состоит из насоса и внешней сети. Подача и напор насоса выбираются в соответствии с потребностью сети. Назовём разность уровней жидкости в напорном и приёмном резервуарах геометрическим напором насосной установки – H_{Γ} . Рассмотрим простейшую схему насосной установки (рис. 5.2).

Характеристикой насосной установки называется зависимость потребного напора $H_{\text{потр}}$ от расхода Q ($H_{\text{потр}} = f(Q)$).

Для перемещения жидкости из приемного резервуара в напорный необходимо затратить энергию на подъём жидкости на высоту H_{Γ} , преодоление разности давлений $p_2 - p_1$ в резервуарах и на преодоление суммарных гидравлических потерь $\Sigma h_{\text{п}}$ во всасывающем и напорном трубопроводах.

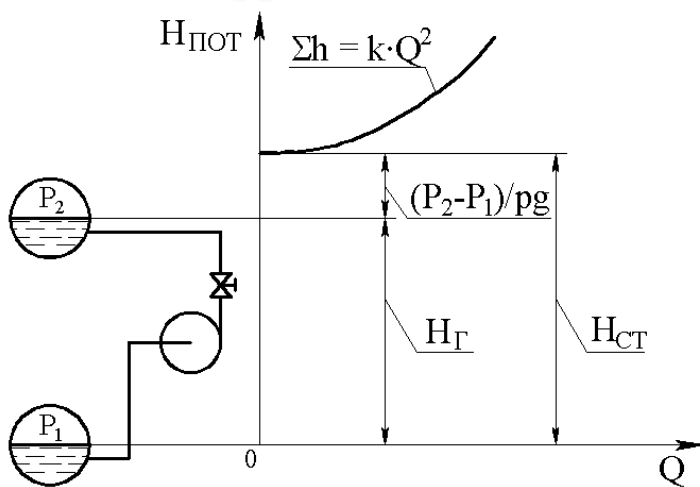


Рисунок 5.2 – Схема насосной установки

Потребный напор установки будет равен

$$H_{\text{нотр}} = H_z + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \Sigma h_n, \quad (5.1)$$

где H_z – геометрическая высота, м; $P_2 - P_1$ – разность давлений, МПа; Σh_n – суммарные гидравлические потери во всасывающем и напорном трубопроводах, м.

Статический напор установки

$$H_{\text{ст}} = H_z + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g}. \quad (5.2)$$

Тогда потребный напор

$$H_{\text{нотр}} = H_{\text{ст}} + \Sigma h_n. \quad (5.3)$$

При турбулентном режиме гидравлические потери пропорциональны расходу во второй степени:

$$\Sigma h_n = k \cdot Q^2, \quad (5.4)$$

где k – сопротивление трубопроводов насосной установки.

5.3.2 Рабочий режим

В каждой насосной установке насос работает в режиме, при котором потребный напор установки равен напору насоса, т. е. $H_{\text{нотр}} = H_n$. Для определения режима работы насоса необходимо в одинаковом масштабе построить характеристики насоса и насосной установки. Тогда пересечение характеристик даёт рабочую точку и определяет рабочий режим насоса (рис. 5.3).

5.3.3 Регулирование режима работы насоса

Регулирование – это изменение режима работы насоса. Для изменения режима работы необходимо изменить либо характеристику насоса, либо характеристику насосной установки.

Применяются следующие способы регулирования:

- а) дросселирование;
- б) изменение диаметра трубопровода;
- в) изменение числа оборотов;

- г) рециркуляция;
- д) подрезка (обточка) диаметра рабочего колеса.

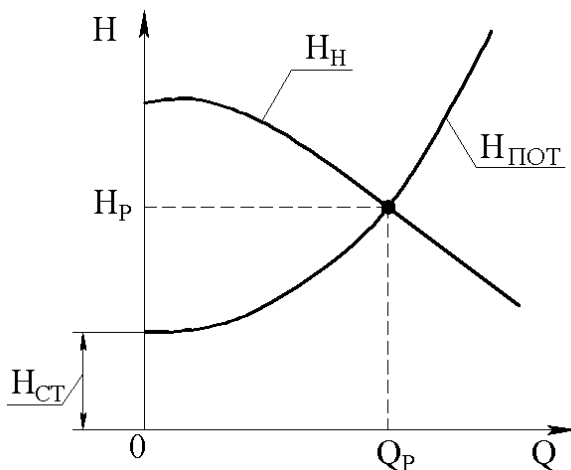


Рисунок 5.3 – Определение режима работы насоса

Рассмотрим некоторые способы регулирования.

1 *Дросселирование* – это гашение напора за счет уменьшения проходного сечения трубопровода. Производится оно вентилем или специальной шайбой. При этом вентиль или задвижку устанавливают на напорном трубопроводе (на всасывающем не допускается из-за возникновения кавитации). После закрытия задвижки рабочая точка переместится из первоначальной т. А в т. В (рис. 5.4). При этом изменится характеристика насосной установки и соответственно рабочий режим (Q_p'). При этом режиме потребный напор складывается из напора, расходуемого в установке, и потерь напора h в задвижке. Таким образом, регулирование работы насоса дросселированием вызывает дополнительные потери энергии.

Потеря мощности(кВт) при дросселировании

$$N_{dp} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot h}{1000}, \quad (5.5)$$

где h – потери напора в задвижке, м; Q – подача, м³/с.

Этот способ простой, но неэкономичный. Однако, благодаря простоте регулирования, получил наибольшее распространение.

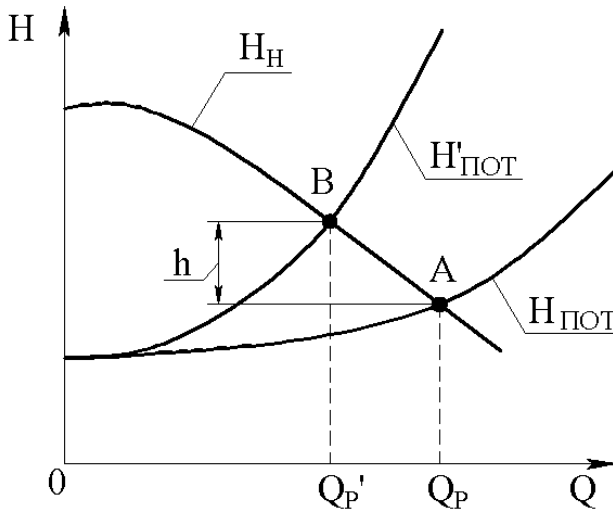


Рисунок 5.4 – Регулирование работы насоса дросселированием

2 Рециркуляция (перепуск). Подача во внешней сети может уменьшаться за счет перепуска части жидкости из напорного трубопровода во всасывающий по обводному трубопроводу (рис. 5.5). Применяется этот способ для насосов, имеющих круто падающую напорную характеристику. К ним относятся вихревые и центробежно-вихревые насосы. Падение к.п.д. при перепуске незначительно.

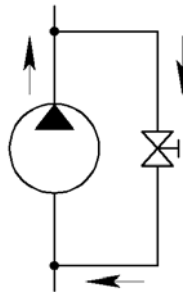


Рисунок 5.5 – Регулирование работы насоса перепуском

3 *Изменение подачи за счет изменения диаметра трубопровода.* При проектировании насосных установок путем подбора диаметров трубопровода можно изменить сопротивление сети и соответственно сдвинуть рабочую точку насоса. Этот способ можно применять в процессе эксплуатации насоса. При его использовании будут возрастать капитальные затраты. В связи с этим он не нашел широкого применения.

4 *Регулирование изменением частоты вращения насоса.*

Изменение частоты вращения насоса ведет к изменению его характеристики и, следовательно, рабочего режима (рис.5.6). Для регулирования этим способом необходимо иметь двигатели с переменной частотой вращения (электродвигатели постоянного тока, паровые и газовые турбины или двигатели внутреннего сгорания).

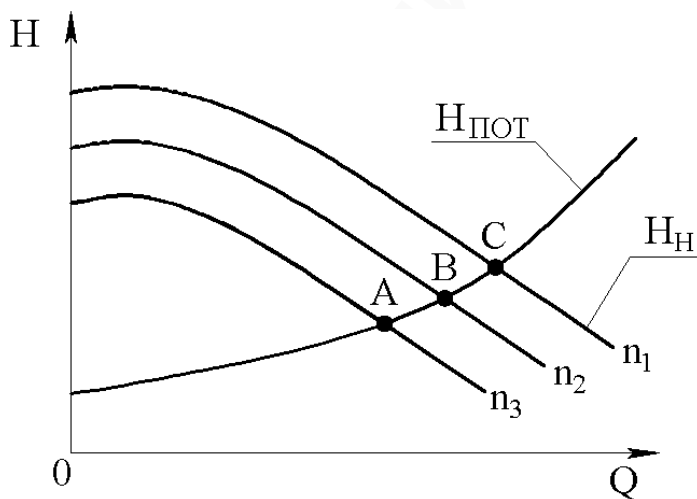


Рисунок 5.6 – Регулирование работы насоса изменением частоты вращения

Допускается изменение частоты вращения включением в цепь ротора асинхронного двигателя сопротивления. Возможно регулирование и гидромуфтой.

Регулирование работы насоса изменением его частоты вращения более экономично, чем регулирование дросселированием.

Искомое число оборотов при регулировании определяют из формул (5.6) и (5.7):

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{Q_2}{Q_1}, \quad (5.6)$$

$$n_2 = n_1 \cdot \sqrt{\frac{H_2}{H_1}}, \quad (5.7)$$

где n_1, Q_1, H_1 – частота вращения, подача и напор установленного насоса; Q_2, H_2 – необходимые значения подачи и напора.

5 *Обточка (подрезка) рабочего колеса.* Рабочее колесо обтачивают по наружному диаметру D_2 до искомого размера. Искомый диаметр колеса можно определить из зависимостей:

$$D_2 = D_1 \cdot \frac{Q_2}{Q_1}, \quad (5.8)$$

$$D_2 = D_1 \cdot \sqrt{\frac{H_2}{H_1}}, \quad (5.9)$$

где D_1, Q_1, H_1 – диаметр, подача и напор установленного насоса; Q_2, H_2 – подача и напор после обточки колеса.

В приведенных формулах принято, что подача и напор изменяются по параболе пропорциональностей, хотя эти зависимости являются более сложными. Однако при уменьшении D_2 на 15 - 20% ошибки в расчетах не превышают 2 – 5%. Для $n_s = 60 - 120$ уменьшение диаметра D_2 на 15 – 20% практически не сказывается на к.п.д. насоса. При более высоких n_s снижение к.п.д. более существенно.

6 МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

6.1 Монтаж насосных установок

Монтаж насосных установок осуществляет специализированная организация в соответствии с проектной документацией и инструкциями завода-изготовителя.

На основе полученной от завода технической документации разрабатывается проект производства монтажных работ.

Проект включает: технологию производства монтажных работ; методы выполнения; организацию работ; календарный график их выполнения. Кроме того, проект определяет потребность в монтажных механизмах, инструменте, материалах, рабочей силе и др.

К монтажу приступают после возведения здания, фундаментов и прокладки трубопроводов.

Фундаменты должны быть выполнены в строгом соответствии с требованиями проекта. Существует два способа крепления насосного агрегата к фундаменту – это фундаментными или анкерными болтами.

Фундаментные болты заделывают в тело фундамента в процессе бетонирования. Этот способ требует высокой точности изготовления фундамента.

При креплении анкерными болтами в теле фундамента оставляют специальные отверстия. Агрегат крепят при помощи шпилек. Анкерные болты допускают смещение агрегата в горизонтальной плоскости.

6.2 Центровка валов насоса и двигателя

Центровка – это обеспечение соосности валов насоса и двигателя. При центровке необходимо соблюдать следующие правила:

1) **в агрегате с редуктором** диктующим является редуктор, который устанавливают первым, затем его выверяют и фиксируют штифтами;

2) **в агрегате с гидромуфтой** насос с электродвигателем центруют по гидромуфте;

3) **в агрегате без редуктора** центровку выполняют по насосу.

Перед центровкой валы предварительно выверяют слесарной линейкой, затем центруют. Окончательно центровка валов проводится после присоединения трубопроводов.

Наиболее распространенный способ центровки – центровка с помощью скоб и индикатора, закреплённых на полу муфтах валов. Центровка осуществляется путем замера радиального и двух торцовых биений в каждом из четырёх положений при взаимном прокручивании роторов.

Горизонтальное перемещение насоса осуществляется установочными болтами, предусмотренными в фундаментной раме, вертикальное – изменением толщины прокладок. Центровка считается удовлетворительной, если разность противоположных зазоров не превышает допустимых величин.

6.3 Монтаж уплотнений

Сальниковые уплотнения (рис. 6.1) устанавливают для создания герметичности внутренних полостей корпусов насоса. Для насосов используется мягкая набивка, которая сжимается нажимной втулкой до необходимых размеров.

Для создания надежной герметизации в конструкции сальника предусматривают установку дополнительного уплотнения в виде кольца гидравлического затвора, в которое подаётся жидкость под давлением $P = (1,25 - 1,3) \cdot P_0$, где P_0 – давление уплотняющей среды.

Сальники бывают трёх видов: плетенные, скатанные и кольцевые.

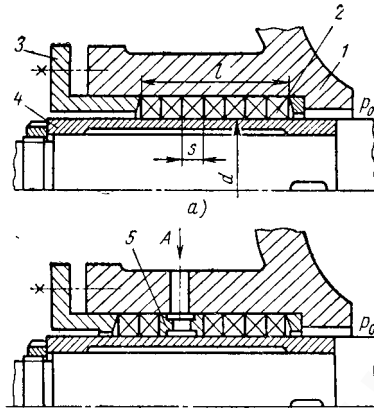


Рисунок 6.1 – Сальниковое уплотнение: 1 – корпус; 2 – сальниковая набивка; 3 – нажимная втулка; 4 – защитная втулка вала; 5 – гидравлическое кольцо

Толщину набивки b , мм, выбирают в зависимости от диаметра вала d :

$$b = (1,5 - 2,5) \cdot d, \quad (6.1)$$

где d – диаметр вала, мм.

Окончательно размер набивки подбирают из ряда стандартных размеров.

Набивать сальники следует отдельными кольцами, установленными со смещением стыков на 120^0 . После укладки последнего кольца набивки прижимную буксу затягивают до отказа, затем гайки отпускают и повторно затягивают от руки.

Торцовые уплотнения предназначены для герметизации валов насосов, перекачивающих нефтепродукты, воду и различные химически активные жидкости.

Существует два типа торцовых уплотнений: одинарные и двойные.

Принцип работы одинарного торцового уплотнения заключается в том, что две втулки, одна из которых связана с корпусом насоса, а другая вращается вместе с валом (рис. 6.2), прижимаются своими притертыми поверхностями одна к другой, герметизируя вал в месте выхода его из корпуса насоса.

Двойное торцовое уплотнение состоит из двух пар трущихся втулок. Подвижный элемент уплотнения прижимается к неподвижному пружиной.

Пружины, работающие на нейтральных жидкостях, изготавливают из углеродистой стали. Для химически активных жидкостей применяют пружины с покрытием углеродистой стали резиной, фторопластом или пластмассой.

Наиболее ответственным является выбор пары трения. На обычной холодной воде хорошо работает пара трения: Сталь 2Х13 – графит.

При работе через уплотнение все же протекает некоторое количество жидкости. Работу уплотнения можно считать удовлетворительной, если утечки не превышают $(0,2-10) \cdot 10^{-3}$ л/час.

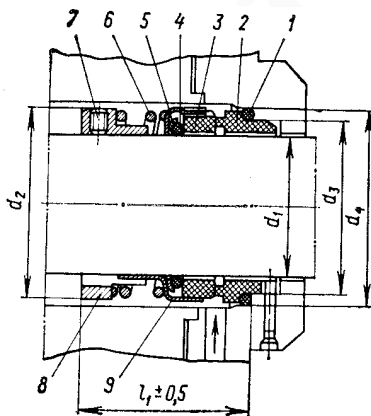


Рисунок 6.2 – Торцовое уплотнение: 1 – кольцо уплотнительное; 2 – кольцо неподвижное; 3 – кольцо вращающееся; 4 – обойма; 5 – сильфон; 6 – пружина волнистая; 7 – кольцо; 8 – винт стопорный; 9 – втулка упорная

6.4 Организация эксплуатационной службы

Надежность работы насосной установки зависит от организации эксплуатационной службы. Надёжная работа обеспечивается постоянным содержанием всего оборудования, трубопро-

водов, арматуры и приборов насосной установки в исправном состоянии.

Руководство эксплуатацией осуществляет служба главного механика или главного энергетика. В помещении насосной станции должны быть вывешены инструкции по эксплуатации оборудования и схема насосной установки. В инструкциях должны быть указаны права и обязанности обслуживающего персонала, последовательность операций при пуске и остановке оборудования, режимы работы насосных агрегатов, способы устранения характерных неисправностей, техника безопасности и противопожарные мероприятия.

Лицо, обслуживающее насосную установку, обязано знать устройство насосного агрегата, принцип его работы, назначение и расположение всей запорно-регулирующей аппаратуры и контрольно-измерительных приборов.

Персонал насосных станций обязан принимать оперативные действия в случае обнаружения неисправностей в работе насосной установки.

При подготовке насосных агрегатов к работе необходимо при внешнем осмотре проверить исправность оборудования и всех приборов, а также состояние маслоустановки. Рекомендуется вручную провернуть ротор агрегата.

Порядок пуска насоса определяется типом насоса и электродвигателя. При пуске с закрытой задвижкой имеет место минимальный пусковой момент (применим для центробежных насосов) и уменьшается вероятность гидроудара. Однако в этом случае требуется время для выхода насоса на рабочий режим. Пуск насоса при открытой задвижке позволяет быстро включить его в работу, но может вызывать перегруз электродвигателя.

Осевые и диагональные насосы всегда следует пускать при открытой напорной задвижке и нагрузку насоса до рабочего режима повышать равномерно.

При пусках насосов в работу необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

- а) пуск последовательно работающих насосов целесообразно проводить в порядке, обратном нумерации;
- б) при параллельной работе насосов следует в первую очередь пускать более мощные насосные агрегаты.

6.5 Эксплуатация насосных установок

Нормальная работа насосных установок обеспечивается проведением следующих мероприятий:

1 Во время работы насосного агрегата необходимо вести постоянный контроль за показаниями приборов.

2 Особое внимание необходимо уделять плотности фланцевых соединений.

3 Обеспечить постоянный контроль давления на входе в насос, чтобы не допустить работу его в режиме кавитации.

4 Допускаемая температура нагрева корпуса электродвигателя должна быть не более 60°C , подшипников скольжения – 65°C , качения – 80°C .

5 Смазка подшипников производится минеральными маслами: индустриальным И-40, И-50; турбинным, а также консистентными смазками – Литол 24 и ЦИАТИМ 22.

6 Уход за сальником состоит в правильной его сборке и своевременной подтяжке. Протечки через сальник должны быть в пределах 30 – 40 капель в минуту.

7 Обеспечить борьбу с шумом и вибрацией. Шум приводит к быстрой утомляемости работающих и снижает их производительность труда. Допустимые значения шума должны быть в пределах 80 – 120 Дб, виброскорости – 4,5 – 11 мм/с.

6.6 Техника безопасности при эксплуатации

На месте эксплуатации насосных агрегатов необходимо разработать правила их безопасной эксплуатации.

Включение и выключение насосных агрегатов должно производиться с ведома диспетчера или старшего по смене. Если на агрегате производятся ремонтные работы, то должны быть

приняты меры, предотвращающие возможность включения его в работу.

Рассмотрим основные меры безопасности.

1 Возможным источником опасных и вредных факторов электронасосного агрегата являются: незащищенные подвижные элементы агрегата; повышенная и пониженная температуры поверхностей деталей насоса; повышенный уровень вибрации; опасный уровень напряжения в электрической цепи.

2 Страховка насосного агрегата должна производиться по схеме, указанной на монтажном чертеже.

3 Пуск агрегата без предварительного его заполнения рабочей жидкостью не допускается.

4 При эксплуатации агрегат должен быть заземлен.

5 При работе агрегата все вращающиеся части должны быть ограждены.

6 Работа насосного агрегата без защитной арматуры на линиях всасывания и нагнетания не допускается.

7 При проведении ремонтных работ двигатель должен быть полностью отключен от электрической цепи.

8 При работе насосного агрегата необходимо следить за температурой его деталей (корпуса, уплотнения, двигателя, подшипников).

9 При работе насоса необходимо регулярно контролировать утечку жидкости через уплотнение.

10 На рабочих местах в производственных помещениях должны быть предусмотрены меры по снижению шума и вибрации.

11 К монтажу и эксплуатации насосного агрегата должны допускаться только квалифицированные механики и слесари, знающие конструкцию агрегата и имеющие свидетельство на право обслуживания.

12 При несчастных случаях необходимо оказать первую помощь пострадавшему и сообщить об этом лицам технического надзора.

13 В помещении насосной станции на видном месте должна находиться аптечка с необходимыми медикаментами для оказания первой помощи при несчастных случаях.

14 В помещении насосной станции в исправном состоянии должны находиться необходимые противопожарные средства.

6.7 Система технического обслуживания насосов

Система технического обслуживания (ТО) – это комплекс организационных и технических мероприятий, регламентирующих и обеспечивающих выполнение профилактических ремонтов и техническое обслуживание оборудования.

Основная цель технического обслуживания – поддержание машин в постоянной готовности к их использованию.

При техническом обслуживании гидро- и пневмомашин применяется "Единая система планово-предупредительных ремонтов и рациональной эксплуатации оборудования машиностроительных предприятий".

Техническое обслуживание агрегатов характеризуется значительным многообразием его организационных форм и методов. Важнейшими из них являются: выполнение работ, связанных со снабжением запасными частями; обеспечение ремонтных работ; обучение специалистов; проведение модернизации оборудования и др.

В зависимости от характера и объема проводимых работ предусматривают ежесменное и периодическое техническое обслуживание.

В ежесменное ТО входят следующие виды работ: обтирка, чистка, регулярный наружный осмотр, смазка, подтяжка сальников, наблюдение за состоянием крепящих деталей, устранение дефектов, частичная регулировка и др. Дефекты и неисправности при этом устраняются и фиксируются в журнале. Ежесменное ТО проводят, как правило, без остановки технологического оборудования.

Периодическое ТО – это обслуживание, выполняемое через установленные в эксплуатационной документации значения наработки или интервалы времени. Это ТО проводится во время плановой остановки оборудования. Основное его назначение – устранить дефекты, которые нельзя обнаружить или устранить в период работы оборудования.

7 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕКОТОРЫХ СПЕЦИАЛЬНЫХ НАСОСОВ И ПНЕВМАТИЧЕСКИХ МАШИН

7.1 Эксплуатация энергетических насосов ТЭС (питательные, конденсатные и сетевые насосы)

К специальным энергетическим насосам относятся питательные, конденсатные и сетевые насосы.

Рассмотрим некоторые особенности их эксплуатации.

7.1.1 Питательные насосы

Долговечность и надежность питательных насосов (рис. 7.1) зависит от правильной их эксплуатации и выполнения основных требований по уходу за ними.

1 Перед пуском насоса необходимо обеспечивать его нормальный прогрев путём перепуска горячей воды из напорного трубопровода.

2 Запрещается пускать насос в работу при закрытых задвижке на всасывании и вентилях на линии рециркуляции.

3 Особое внимание уделять плотности стыковых соединений при работающих насосах.

4 Обеспечивать тщательный уход за сальниковыми уплотнениями.

5 Запрещается работа насоса с неисправным обратным клапаном.

6 Аварийная остановка питательного насоса предусмотрена во всех случаях, когда его работа грозит выходом из строя всего агрегата и представляет опасность для обслуживающего персонала. В аварийных ситуациях необходимо включить резервный насос.

7 Не допускать «запаривания» насоса, при котором может возникнуть металлический контакт между неподвижными и вращающимися частями насоса в случае разрыва сплошности потока.

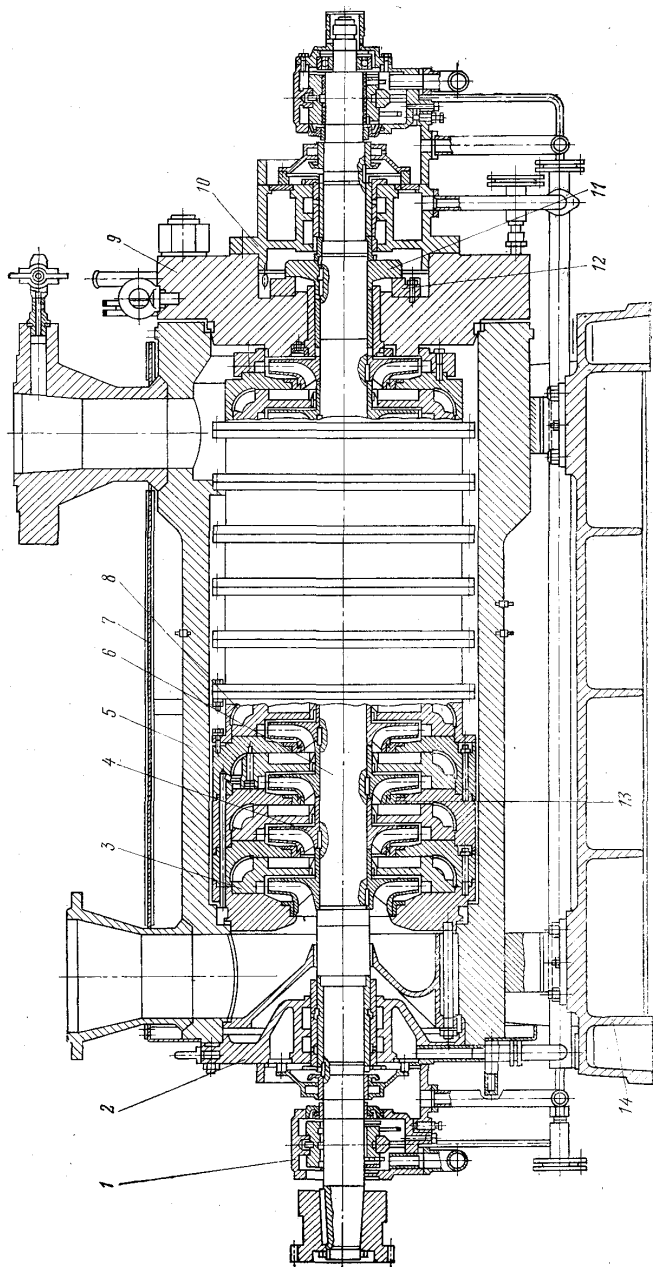


Рисунок 7.1 – Питательный насос: 1 – подшипник скольжения; 2 - крышка входная; 3 – переднее уплотнение колеса; 4 – рабочее колесо; 5 – наружный корпус; 6 – вал; 7 – кожух; 8 – внутренний корпус; 9 – крышка напорная; 10 – корпус уплотнения; 11 – диск разгрузочный; 12 – подушка пяты; 13 – уплотнение промежуточной ступени; 14 – плита

7.1.2 Конденсатные насосы

Конденсатные насосы (рис. 7.2) предназначены для подачи конденсата отработанного пара на теплообменные аппараты ТЭС или жидкостей, сходных с конденсатом по вязкости и химической активности.

Конденсатные насосы должны надежно работать при наличии начальной или развитой кавитации в зоне рабочего колеса. Для этого применяют: низкие частоты вращения; специальные материалы, стойкие к кавитационным разрушениям; специальные бочкообразной формы рабочие колёса первой ступени; предвключенные рабочие колёса и др. Эти насосы имеют более низкий к.п.д., большую массу и выше себестоимость.

Для обеспечения устойчивой параллельной работы конденсатные насосы должны иметь стабильную форму напорной характеристики (без западающего начального участка).

Кроме этого, должно быть обеспечено отсутствие подсоса воздуха через работающий и неработающий насосы.

Для расширения диапазона работы этих насосов применяется подрезка рабочего колеса.

7.1.3 Сетевые насосы

Сетевые насосы (рис. 7.3) должны обладать повышенной надежностью, так как перебои в их работе сказываются на режиме работы ТЭЦ и её потребителей. Насосы используют для подачи горячей воды по теплофикационным сетям. Они могут работать как на ТЭЦ, так и на промежуточных насосных станциях теплофикационных систем.

Основная особенность при их работе – колебание температуры подаваемой воды в широких пределах. Это вызывает изменение давления внутри насоса. Поэтому сетевые насосы должны иметь стабильную форму напорной характеристики. Насосы предназначены для работы на чистой воде.

Изменение параметров сетевых насосов может быть достигнуто за счет подрезки колес по наружному диаметру в пределах, оговоренных заводом-изготовителем. Снижение к.п.д. при этом не должно превышать 3%.

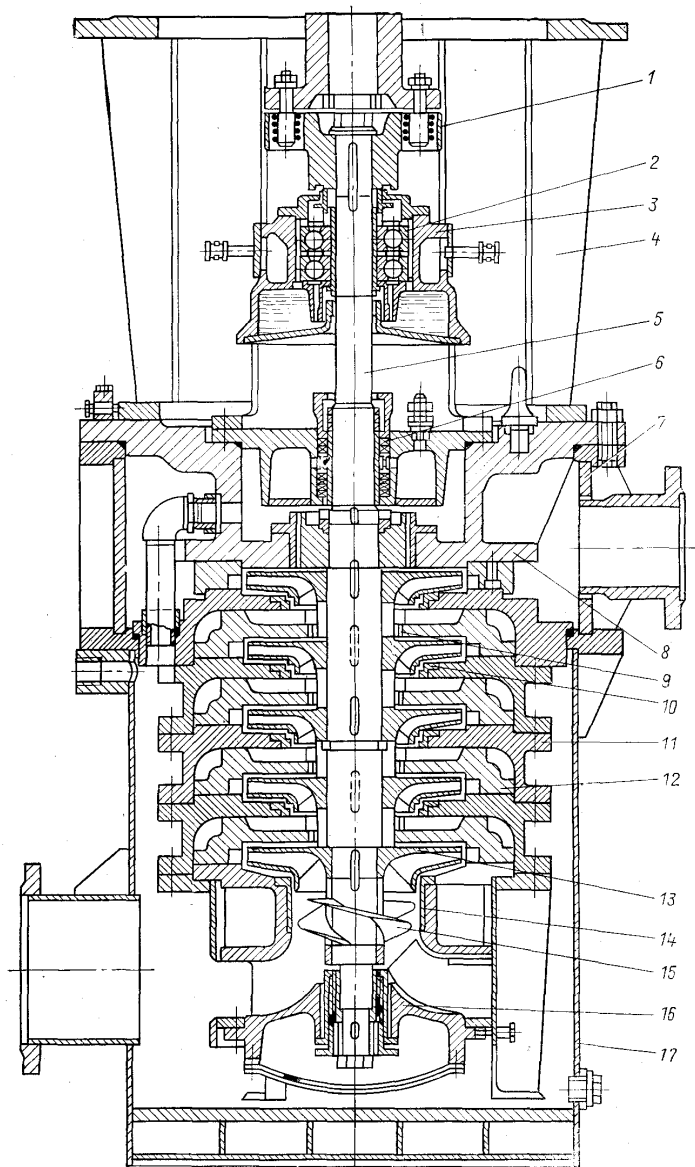


Рисунок 7.2 – Конденсатный насос: 1 – муфта; 2 – опорно-упорный подшипник; 3 – корпус подшипника; 4 – фланец; 5 – вал; 6 – сальниковое уплотнение; 7 – напорный патрубок; 8 – напорная крышка; 9 – кольцо межступенчатого уплотнения; 10 – кольцо переднего уплотнения колеса; 11 – секция; 12 – аппарат направляющий; 13 – рабочее колесо; 14 – подвод; 15 – предвключенное колесо; 16 – опорный подшипник; 17 – наружный корпус

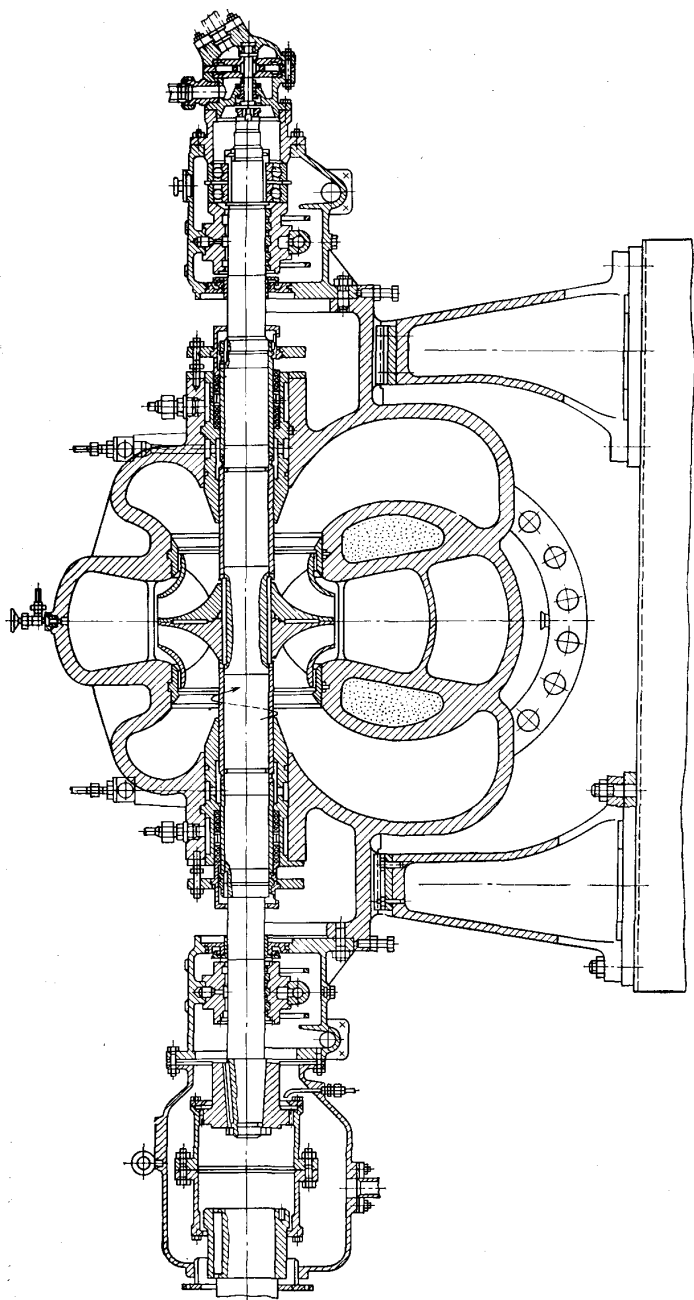


Рисунок 7.3 – Сетевой насос

Сетевые насосы поставляются на индивидуальных фундаментах плит. Для уменьшения возможных вертикальных температурных перемещений корпуса лапы их максимально приближены к оси ротора. Для сохранения постоянного горизонтального положения оси насоса в корпусе предусмотрены две продольные шпонки.

7.2 Особенности эксплуатации химических насосов

Химические насосы (рис 7.4) применяются для перекачивания агрессивных, токсичных и взрывоопасных жидкостей.

Основными требованиями к насосам являются надежность конструкции, коррозионная стойкость, герметичность, простота, удобство обслуживания и безопасность.

При изготовлении химических насосов применяют пластические массы, металлокерамику, порошковые материалы, легированные стали и чугуны, бронзу, титан и др.

В химических насосах используют сальниковые и торцовые уплотнения. Последние имеют ряд преимуществ: не требуют обслуживания, работают практически без утечек, долговечны и экономичны. Они предпочтительны в конструкциях насосов типа Х. Для уплотнений, работающих на жидкостях, содержащих твердые включения, подается чистая затворная жидкость. Это способствует значительному повышению долговечности пары трения.

Заливку насосов производят при помощи ловушки (рис. 7.5). Это вертикальный цилиндрический сосуд объемом 50 - 70 л с внутренним перфорированным стаканом. Ловушка устанавливается перед насосом и позволяет запустить его при отсутствии приемного клапана. Она предохраняет насос от забивания посторонними предметами (комками, бумагой и т.п.). При пуске насоса жидкость начинает выкачиваться из ловушки. Образующееся разрежение заставляет поднимать её по всасывающему трубопроводу и далее в насос.

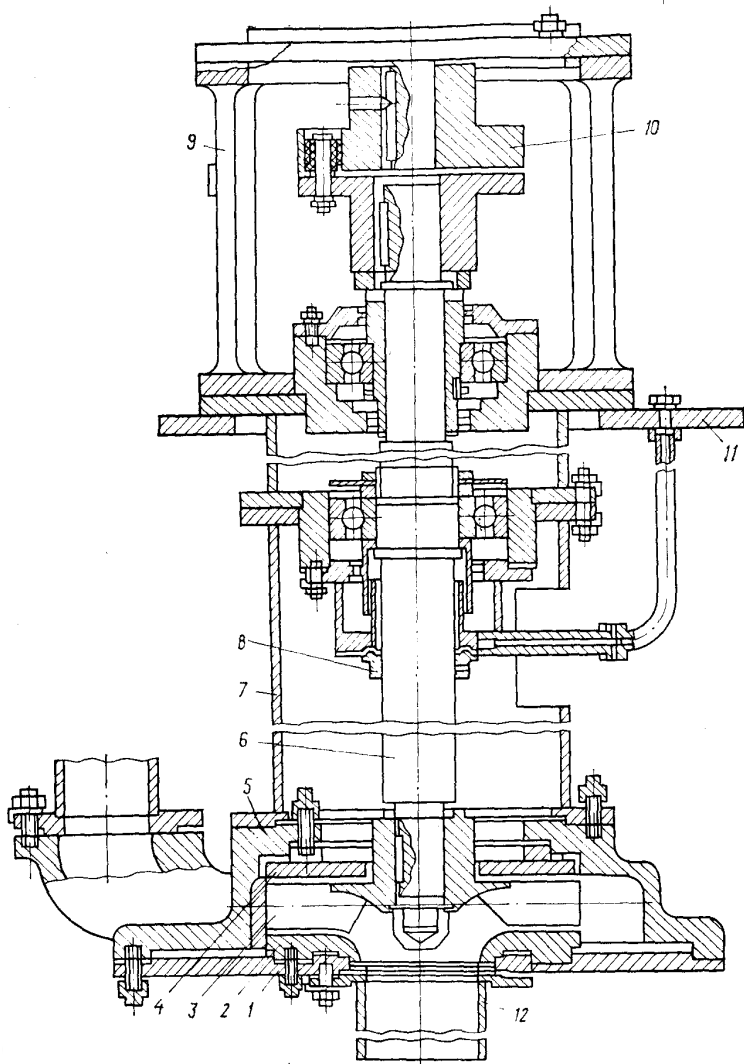


Рисунок 7.4 – Химические насосы типов ТХИ и АХИ: 1 – крышка; 2 – нижний диск; 3 – рабочее колесо; 4 – верхний диск; 5 – корпус; 6 – вал; 7 – корпус подшипника с подвеской; 8 – отбойник жидкости; 9 – опорная стойка; 10 – муфта; 11 – опорная плита; 12 – всасывающая труба

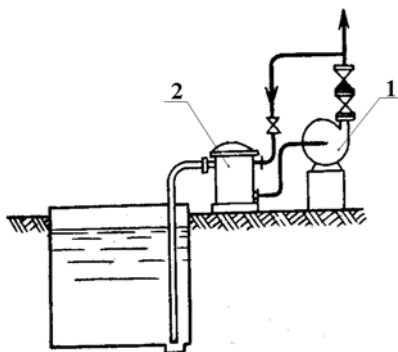


Рисунок 7.5 – Схема установки насоса с ловушкой: 1 – насос; 2 – ловушка

Во время эксплуатации химических насосов необходимо обеспечить:

- а) постоянный уход и контроль за насосом;
- б) соблюдение инструкций завода-изготовителя;
- в) контроль за давлением на входе в насос; температурой перекачиваемой жидкости; уровнем масла; температурой подшипников (нормальная температура $45-60^{\circ}\text{C}$, допустимая – 80°C); работой сальниковых уплотнений; вибрацией подшипников и др.

7.3 Особенности эксплуатации насосов для абразивных гидросмесей

Насосы для абразивных гидросмесей различают в зависимости от назначения и рода перекачиваемой жидкости: землесосы, грунтовые, песковые, шламовые, пульповые и др. Из всей группы насосов наиболее широкое применение получили грунтовые насосы (рис 7.6). Основная их особенность – это интенсивное изнашивание проточной части, которое приводит к необходимости частой замены износившихся деталей. При оценке эксплуатационных качеств грунтовых насосов первостепенное значение имеют их надежность и износостойкость, а к.п.д. является менее важным параметром. Насосы должны пропускать твердые включения размером до $(0,5 - 0,7) \cdot d_{\text{вх}}$. Это требует уве-

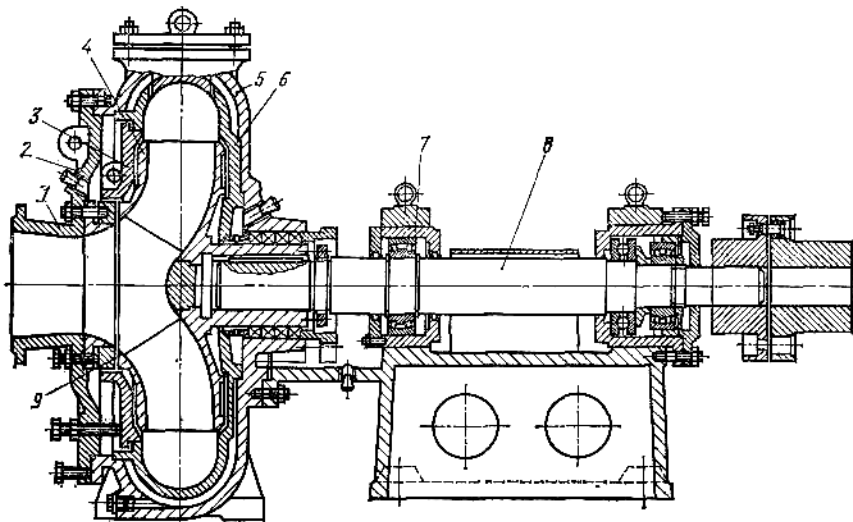


Рисунок 7.6 – Типовая конструкция грунтовых насосов: 1 – всасывающий патрубок; 2 – крышка; 3 – бронедиск со стороны входа; 4 – рабочее колесо; 5 – наружный корпус; 6 – внутренний корпус; 7 – опорный узел; 8 – ротор; 9 – уплотняющее кольцо

личения каналов подвода, рабочего колеса и отвода. Перерасширение каналов приводит к снижению к.п.д. и всасывающей способности насосов и ухудшению их кавитационных качеств.

Особенности эксплуатации насосов для абразивных гидросмесей связаны, главным образом, с их изнашиванием.

1 Не допускается работа насосов в кавитационном режиме.

2 Для изменения напорной характеристики насосов необходимо применять подрезку рабочего колеса.

3 Для обеспечения нормальной работы сальниковых уплотнений необходима подача промывочной воды с расходом $q = (0,5 - 1)\%Q_H$.

4 Использование износостойких материалов проточной части (чугуна ИЧХ28Н2; хромоникелевольфрамовых сталей

35ХНВГЛ, 40ХГСНЛ и др.), позволяет увеличить срок службы насосов в 7 – 10 раз.

5 Резиновые футеровки, гуммирование, корундовые покрытия значительно увеличивают срок службы насосов при транспортировании гидросмесей с мелкими твёрдыми частицами.

6 Снижение частоты вращения значительно уменьшает износ проточной части насосов.

7 Одним из эффективных направлений повышения срока службы насосов является проектирование проточной части на большую пропускную способность, т.е. смещение оптимального режима в сторону больших подач.

8 Грунтовые насосы должны эксплуатироваться при режимах, обеспечивающих минимально возможный износ проточных каналов.

7.4 Особенности эксплуатации пневмомашин

7.4.1 Основные виды пневмомашин и область их применения

Пневмомшины разделяют на вентиляторы, воздуходувки и нагнетатели (компрессоры). Во всех машинах происходит сжатие газов, которые движутся благодаря динамическому воздействию лопастей рабочего колеса.

Рассмотрим кратко особенности и область применения каждого вида пневматических машин.

1 Вентиляторы – это наиболее распространенный класс пневмомашин. Вентиляторами называются нагнетатели вращательного типа, предназначенные для подачи газов и воздуха при небольшом напоре (до 15 кПа). Вентиляторы разделяют на центробежные (рис.7.7) и осевые (рис.7.8).

Центробежные вентиляторы применяют для подачи воздуха при относительно небольшом давлении, а осевые – при перемещении большого количества воздуха при малом давлении.

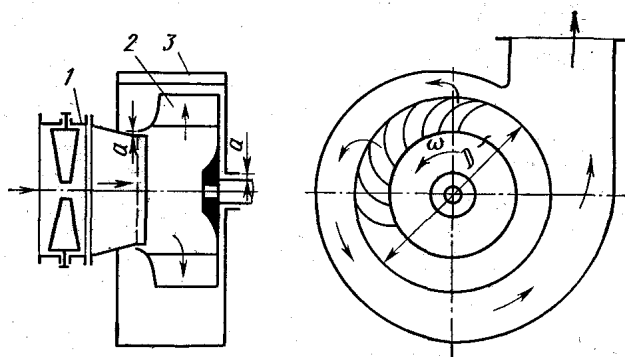


Рисунок 7.7 – Схема центробежного вентилятора: 1 – подвод; 2 – рабочее колесо; 3 – корпус

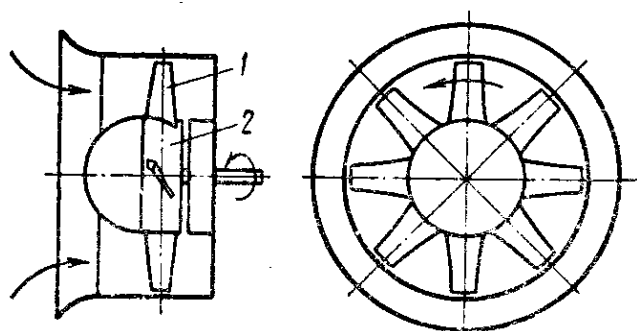


Рисунок 7.8 – Схема осевого вентилятора: 1 – рабочая лопасть; 2 – втулка рабочего колеса

2 Воздуходувки. Применяют на насосных станциях и сооружениях, где необходимы большие расходы воздуха с напором до 10 м. В зависимости от напора их разделяют на одно- и многоступенчатые (рис.7.9). Рабочий орган – рабочее колесо с лопастями, в котором происходит преобразование энергии и сжатие воздуха.

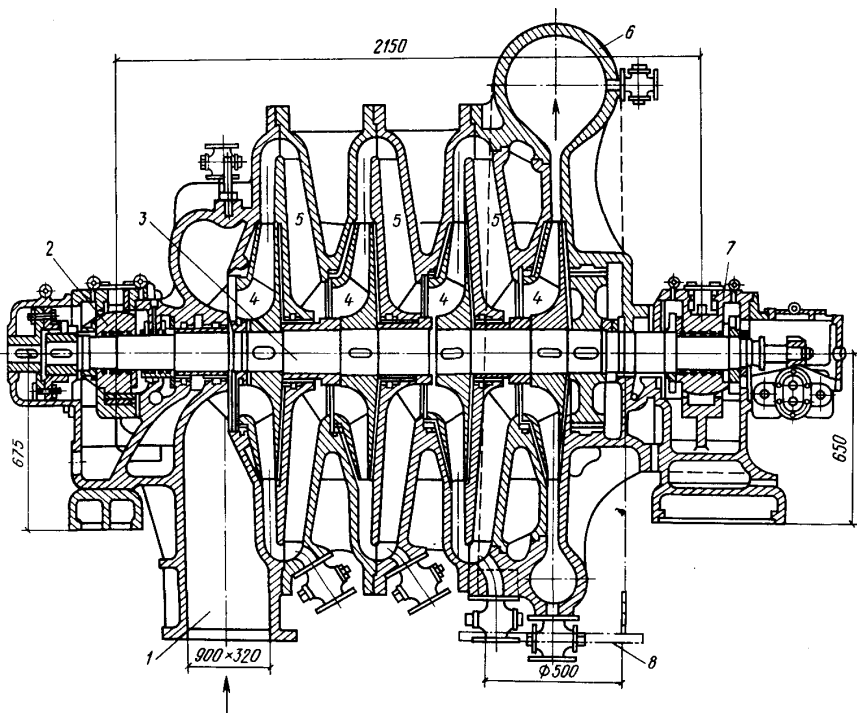


Рисунок 7.9 – Турбовоздуходувка: 1 – входной патрубок; 2 – опорный подшипник; 3 – вал; 4 – рабочие колеса; 5 – конфузор; 6 – выходной патрубок; 7 – опорно-упорный подшипник; 8 – разгрузочная труба

3 Нагнетатели (центробежные компрессоры). В центробежных нагнетателях (рис.7.10) подача практически неограничена, а давление достигает 25 МПа в одном корпусе. Рабочий процесс протекает в проточной части нагнетателя, образованной входной камерой, центробежным рабочим колесом, диффузорами, обратным направляющим аппаратом и отводом (сборной камерой). Рабочее колесо передает механическую энергию привода газу.

Нагнетатели широко применяются в газоперекачивающих агрегатах (ГПА) на компрессорных станциях при транспортировании газа.

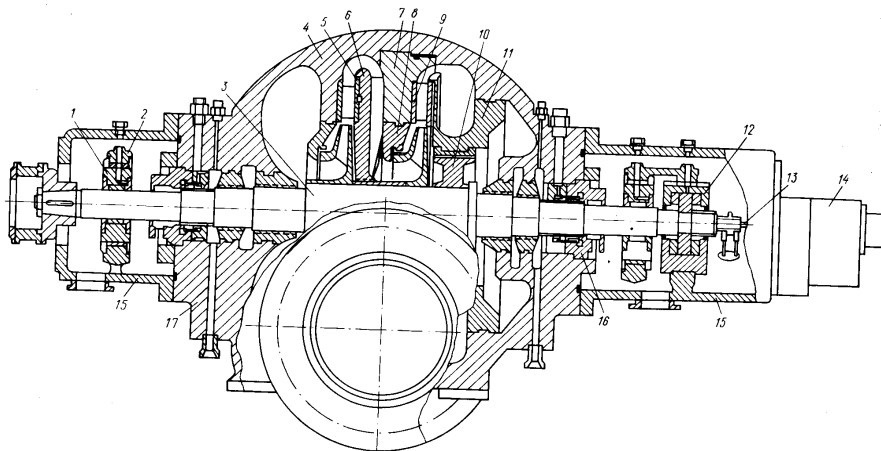


Рисунок 7.10 – Нагнетатель ГПА: 1 – опорный подшипник; 2 – крышка подшипника; 3 – ротор; 4 – верхняя часть корпуса; 5 – диффузор; 6 – обратный направляющий аппарат; 7 – диафрагма; 8 – подвод; 9 – диффузор второй ступени; 10 – разгрузочный барабан; 11 – улитка; 12 – упорный подшипник; 13 – датчик; 14 – маслонасос; 15 – крышка; 16 – уплотнение концевое; 17 – нижняя часть корпуса

7.4.2 Особенности обслуживания и эксплуатации пневмомашин

Техническая эксплуатация пневматических машин (вентиляторы, воздуходувки и нагнетатели) по аналогии с насосами включает их пуск, остановку, регулирование режима работы, надзор за исправным и безопасным их действием. Выполнение рекомендаций завода-изготовителя по техническому обслуживанию обязательно при эксплуатации данного оборудования.

Требования по обслуживанию и эксплуатации разных видов пневмомашин имеют много общего. Методы устранения неисправностей аналогичны лопастным насосам. Рассмотрим некоторые особенности.

1 Перед пуском вентиляторов необходимо проверить наличие прокладок в местах соединения отдельных частей корпуса и присоединения вентилятора к системе.

2 Поскольку в вентиляторах отсутствует опасность возникновения кавитации, пуск их в работу можно осуществлять при закрытом дросселе (шибере) на входе. Центробежные вентиляторы пускают в работу при закрытом дросселе на нагнетании, осевые – при открытом.

3 Во время работы пневмомашин проверяют герметичность и вибрацию воздухопроводов.

4 Постоянно контролируют состояние электродвигателя, температуру подшипников опорной стойки, вибрацию подшипников и корпуса вентилятора.

5 При эксплуатации турбокомпрессоров необходимо применять охлаждение сжимаемого воздуха.

6 При эксплуатации нагнетателей ГПА необходимо: 1 раз в смену производить визуальный осмотр работающего оборудования; следить за перепадом давления на фильтрах систем смазки и уплотнения; ежедневно контролировать состояние масла; периодически проверять значения параметров и производить запись в суточной ведомости агрегата; при минусовых температурах наружного воздуха обеспечить подогрев циклового воздуха.

7 Обеспечить выполнение требований и рекомендаций по эксплуатации завода-изготовителя турбомашин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решетов Д.Н. и др. Надежность машин: Учебное пособие для машиностроительных спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.
2. Сырицын Т.А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.
3. Карнаухов В.А. Монтаж, наладка и эксплуатация насосных установок. – К.: Будівельник, 1976. – 127 с.
4. Яременко О.В. Испытания насосов. – М.: Машиностроение, 1976. – 225 с.
5. Малюшенко В.В., Михайлов А.К. Энергетические насосы: Справочное пособие. – М.: Энергоиздат, 1981. – 200с.
6. Животовский Л.С., Смйловская Л.А. Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы. – М.: Машиностроение, 1986. – 224с.
7. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 423с.
8. Насосы в химической промышленности: Справ. изд. – М.: Химия, 1990. – 240с.
9. Бакланов Н.А. Насосы в химической промышленности. -2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1977. – 72с.
10. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 320с.
11. Васильев В.Д. и др. Монтаж компрессоров, насосов и вентиляторов: Учебник для проф.-техн. училищ. – М.: Высшая школа, 1979. – 211с.
12. Апанасенко А.И., Крившич Н.Г., Федоренко Н.Д. Монтаж, испытания и эксплуатация газоперекачивающих агрегатов в блочно-контейнерном исполнении. – Л.: Недра, 1991. – 361с.