

GRUNDFOS

A metallic, brushed steel plaque is shown at an angle, resting on a dark, textured surface. The plaque features the Grundfos logo, which consists of a stylized 'X' shape, and the text 'GRUNDFOS' and 'INDUSTRIAL SOLUTIONS' in a bold, sans-serif font. The lighting is dramatic, highlighting the metallic texture of the plaque against a dark background.

GRUNDFOS
INDUSTRIAL SOLUTIONS

ПРОМЫШЛЕННОЕ НАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

BE > THINK > INNOVATE >

GRUNDFOS 

ПРОМЫШЛЕННОЕ НАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Copyright 2006 GRUNDFOS Management A/S. All rights reserved.

Материал этой книги защищается законом об авторских правах и международными договорами. Ни одна часть издания не может быть воспроизведена никаким способом без предварительного письменного разрешения Правления компании GRUNDFOS (Grundfos Management A/S).

Степень ответственности

Все материалы, приведенные в этой книге, взяты из источников, которые GRUNDFOS Management A/S считает надежными. Однако, принимая во внимание возможные технические ошибки, мы не можем гарантировать абсолютную точность и полноту приводимых сведений.

Предисловие

Технические и экономические характеристики любого производственного процесса во многом зависят от задействованного в нем насосного оборудования: от того, насколько правильно оно подобрано, с каким КПД работает, а также от его надежности и экономичности. Помочь в решении этих непростых задач призвана книга «Промышленное насосное оборудование», написанная специалистами компании Grundfos. В ней доступным языком рассказывается о методике подбора насосов и систем.

Эта книга рассчитана на инженеров и технических специалистов — тех, кто занимается конструированием и монтажом насосного оборудования, в ней содержатся ответы на множество вопросов по проектированию, расчету и установке оборудования. Книгу «Промышленное насосное оборудование» можно читать как целиком, так и отдельными частями, уделяя внимание лишь интересующим Вас вопросам.

Книга состоит из 6 частей, которые соответствуют этапам проектирования системы

В 1-й части книги дается общий обзор различных типов насосов и компонентов, применяемых в промышленных процессах. Здесь же рассматриваются вопросы перекачивания вязких жидкостей, описываются наиболее используемые при изготовлении насосов материалы и виды коррозии.

Наиболее важные термины и вопросы, возникающие при чтении рабочей характеристики насоса, описаны во 2-й части. В 3-й части рассматривается гидравлика системы и основные факторы, влияющие на работу системы в точке оптимального КПД. Часто возникает необходимость регулировать рабочую характеристику насоса, методы регулирования подробно описаны в 4-й части книги. В 5-й части приводятся расчеты стоимости жизненного цикла и отмечается, какую важную роль здесь играет энергопотребление насоса и системы.

Мы искренне надеемся, что книга «Промышленное насосное оборудование» будет Вам полезна в Вашей повседневной работе.

Компания ООО «Грундфос» благодарит за помощь в подготовке и адаптации материала этой книги своих сотрудников:

Макарова Андрея	Руководителя сегмента промышленного оборудования
Амусьева Геннадия	Инженера сегмента «Насосы для водоснабжения и канализации»
Москаленко Дмитрия	Инженера сегмента «Насосы инженерных систем зданий»
Назарова Дмитрия	Инженера сегмента «Дозаторы и Дезинфекция»

Глава 1. Конструкции насосов и электродвигателей 7

Раздел 1.1. Конструкции насосов 7

1.1.1. Центробежные насосы.....	8
1.1.2. Рабочие характеристики насосов	9
1.1.3. Характеристики центробежных насосов.....	11
1.1.4. Наиболее распространенные насосы консольного типа и типа «ин-лайн»	12
1.1.5. Типы рабочего колеса (осевые силы)	14
1.1.6. Типы корпуса (радиальные силы).....	15
1.1.7. Одноступенчатые насосы	15
1.1.8. Многоступенчатые насосы.....	16
1.1.9. Насосы с соединительной муфтой и моноблочные насосы	16

Раздел 1.2. Типы насосов 17

1.2.1. Стандартные насосы	17
1.2.2. Насосы двухстороннего входа	17
1.2.3. Насосы с герметичным уплотнением.....	18
1.2.4. Пищевые и фармацевтические насосы	20
1.2.5. Канализационные насосы.....	21
1.2.6. Полупогружные насосы	22
1.2.7. Скважинные насосы.....	23
1.2.8. Объемные насосы	24
1.2.9. Дозировочные насосы	25

Раздел 1.3. Механические уплотнения вала..... 27

1.3.1. Компоненты и функции механического уплотнения вала	29
1.3.2. Сбалансированные и несбалансированные уплотнения вала	30
1.3.3. Типы механических уплотнений вала	31
1.3.4. Комбинации материалов уплотняющих поверхностей.....	34
1.3.5. Факторы, влияющие на характеристики уплотнений.....	36

Раздел 1.4. Электродвигатели 39

1.4.1. Стандарты.....	40
1.4.2. Пуск электродвигателя.....	46
1.4.3. Подключение к электросети	47
1.4.4. Преобразователь частоты	47
1.4.5. Защита электродвигателя	49

Раздел 1.5. Жидкости 53

1.5.1. Вязкие жидкости	54
1.5.2. Неньютоновские жидкости	55

1.5.3. Влияние вязкости жидкости на характеристики центробежного насоса	55
1.5.4. Выбор насоса для жидкости с антифризными присадками	56
1.5.5. Пример расчета.....	58
1.5.6. Компьютерный подбор насоса для перекачивания плотных и вязких жидкостей	58

Раздел 1.6. Материалы 59

1.6.1. Что такое коррозия?	60
1.6.2. Типы коррозии	61
1.6.3. Металлы и металлические сплавы	65
1.6.4. Керамика.....	71
1.6.5. Пластмассы.....	71
1.6.6. Резина	72
1.6.7. Защитные покрытия.....	73

Глава 2. Монтаж насоса и его рабочие характеристики 75

Раздел 2.1. Монтаж насоса 75

2.1.1. Монтаж нового насоса	76
2.1.2. Замена существующего насоса на новый.....	76
2.1.3. Способы соединения насоса и трубопровода	77
2.1.4. Ограничение шума и вибраций	78
2.1.5. Уровень шума (L)	81

Раздел 2.2. Рабочие характеристики насоса..... 83

2.2.1. Гидравлические параметры.....	83
2.2.2. Электрические параметры.....	90
2.2.3. Свойства жидкости	93

Глава 3. Гидравлическая система 95

Раздел 3.1. Характеристики системы..... 95

3.1.1. Соппротивления отдельных компонентов системы	97
3.1.2. Закрытые и открытые и системы	98

Раздел 3.2. Совместная работа нескольких насосов 101

3.2.1. Насосы, установленные параллельно.....	101
3.2.2. Насосы, установленные последовательно ...	103

Глава 4. Регулирование рабочих параметров насосов..... 105

Раздел 4.1. Регулирование рабочих параметров насоса..... 105

4.1.1. Дроссельное регулирование	107
4.1.2. Регулирование байпасом	107
4.1.3. Коррекция диаметра рабочего колеса	108
4.1.4. Регулирование скорости	108
4.1.5. Сравнение методов регулирования	110
4.1.6. Общий КПД насосной системы	111
4.1.7. Пример: Относительное потребление энергии при снижении расхода на 20%	111

Раздел 4.2. Методы регулирования

4.2.1. Регулирование по постоянному давлению ...	114
4.2.2. Регулирование по постоянной температуре..	115
4.2.3. Регулирование по постоянному перепаду давления в циркуляционной системе	115
4.2.4. Пропорциональное регулирование напора (косвенное)	116

Раздел 4.3. Преимущества регулирования скорости насосов

Раздел 4.4. Преимущества насосов со встроенным преобразователем частоты

4.4.1. Рабочие характеристики регулируемых насосов	119
4.4.2. Регулируемые насосы в разных системах	119

Раздел 4.5. Преобразователь частоты

4.5.1. Основные функции и характеристики	122
4.5.2. Компоненты преобразователя частоты	122
4.5.3. Специальные условия, касающиеся преобразователей частоты	124

Глава 5. Расчет стоимости жизненного цикла..... 127

Раздел 5.1. Уравнения стоимости жизненного цикла

5.1.1. Инвестиционные затраты (затраты на покупку) ($C_{и}$)	129
--	-----

5.1.2. Затраты на монтаж и пусконаладочные работы ($C_{мон}$)	129
5.1.3. Затраты на электроэнергию ($C_{эл}$)	130
5.1.4. Эксплуатационные затраты ($C_{эксп}$)	130
5.1.5. Экологические затраты ($C_{экол}$)	130
5.1.6. Затраты на ремонт и техническое обслуживание ($C_{обсл}$)	131
5.1.7. Простои оборудования и упущенная прибыль ($C_{пр}$)	131
5.1.8. Затраты на демонтаж и утилизацию (C_0)	131

Раздел 5.2. Пример расчета стоимости жизненного цикла

Глава 6. Наши объекты

Приложения

A. Условные обозначения и единицы измерения ...	157
B. Таблицы перевода единиц измерения	158
C. Приставки в системе СИ и греческий алфавит ..	159
D. Давление насыщенного пара и плотность воды при различных температурах	160
E. Дроссельное регулирование	161
F. Изменение статического давления вследствие изменения диаметра трубопровода	162
G. Сопло	163
H. Периодическая система Менделеева	164
I. Номограмма потерь напора в коленах, клапанах и т.д.	165
J. Номограмма потерь на трение в трубопроводе для чистой воды при температуре 20°C	166
K. Стандарты насосов	167
L. Зависимость вязкости жидкостей от температуры	168

Раздел 1.1. Конструкции насосов

- 1.1.1. Центробежные насосы
- 1.1.2. Рабочие характеристики насосов
- 1.1.3. Характеристики центробежных насосов
- 1.1.4. Наиболее распространенные насосы консольного типа и типа «ин-лайн»
- 1.1.5. Типы рабочего колеса (осевые силы)
- 1.1.6. Типы корпуса (радиальные силы)
- 1.1.7. Одноступенчатые насосы
- 1.1.8. Многоступенчатые насосы
- 1.1.9. Насосы с соединительной муфтой и моноблочные насосы

Раздел 1.2. Типы насосов

- 1.2.1. Стандартные насосы
- 1.2.2. Насосы двухстороннего входа
- 1.2.3. Насосы с герметичным уплотнением
- 1.2.4. Пищевые и фармацевтические насосы
- 1.2.5. Канализационные насосы
- 1.2.6. Полупогружные насосы
- 1.2.7. Скважинные насосы
- 1.2.8. Объемные насосы
- 1.2.9. Дозировочные насосы



1.1.1. Центробежные насосы

В 1689 году французский физик Денис Папин (Denis Papin) изобрел центробежный насос, который и сегодня очень популярен. Центробежный насос построен на простом принципе: жидкость направляется к ступице рабочего колеса и с помощью центробежной силы выбрасывается к периферии.

Такая конструкция является относительно недорогой, долговечной и простой, к тому же высокая скорость вращения позволяет напрямую присоединять вал насоса к асинхронному электродвигателю. Центробежный насос обеспечивает постоянное значение напора, который можно легко регулировать, не причинив вреда насосу.

Теперь давайте посмотрим на рисунок 1.1.1, на котором изображено прохождение жидкости через насос. Жидкость через входной патрубок направляется к центру вращающегося рабочего колеса, откуда с силой отбрасывается по направлению к его периферии. Такая конструкция обеспечивает высокий КПД и используется для перекачивания чистых жидкостей. Насосы, которые должны работать с загрязненными жидкостями, например сточными водами, имеют иную конструкцию колеса — такую, которая позволяет избежать блокировки и закупорки его гидравлической части (см. раздел 1.2.5).

Если в системе присутствует перепад давления, а насос отключен, то благодаря его конструкции жидкость может свободно проходить через проточную часть.

Из рисунка 1.1.2. видно, что центробежные насосы разделены на группы: с радиальным, диагональным и осевым рабочим колесом. Наиболее часто используются насосы с радиальными и диагональными рабочими колесами. Поэтому далее мы постараемся наиболее полно описать именно их.

К тому же мы кратко ознакомим Вас с объемными насосами (раздел 1.2.8).

Разные требования к параметрам центробежных насосов: напору, расходу; способу монтажа, а также экономичности — являются лишь несколькими причинами использования различных типов насосов. На рис. 1.1.3 показаны поля характеристик различных типов насосов.

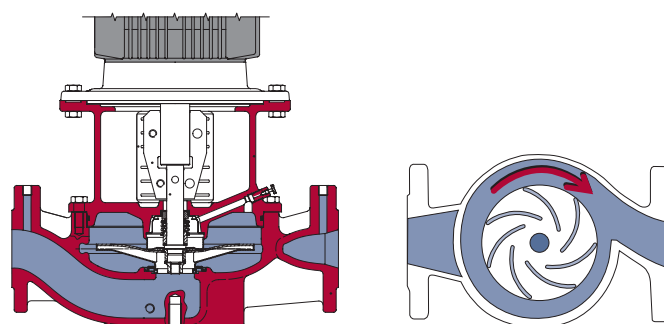


Рис.1.1.1: Прохождение жидкости через насос



Рис.1.1.2: Типы центробежных насосов

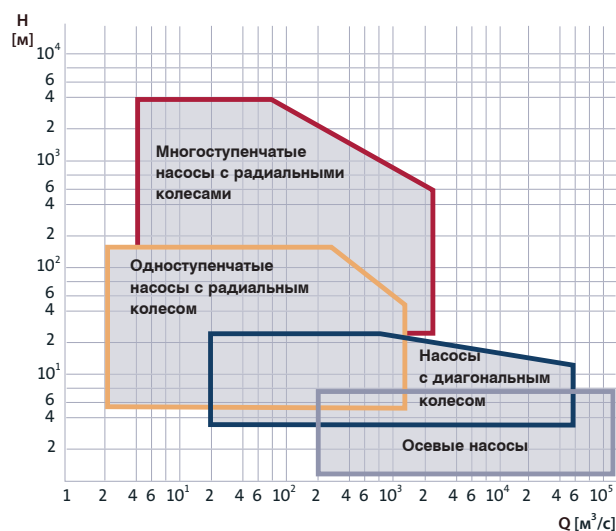


Рис.1.1.3: Расход и напор для разных типов центробежных насосов



1.1.2. Рабочие характеристики насосов

Прежде чем рассматривать более глубоко конструктивные особенности и типы насосов, мы расскажем об их основных характеристиках. Параметры центробежного насоса обычно описываются рабочими характеристиками. Рабочие характеристики центробежного насоса изображены на рис.1.1.4. Напор, потребляемая мощность, КПД и NPSH представлены как функции от расхода.

Обычно характеристики насоса в техническом каталоге описывают только работу самого насоса. Так, потребляемая мощность, значение P_2 , — это мощность на валу электродвигателя (мощность на входе в насосную часть, см. рис.1.1.4). То же самое можно сказать и о значении КПД насосной части ($\eta = \eta_p$).

В некоторых типах насосов со встроенным электродвигателем и, возможно, встроенным преобразователем частоты, например в герметичных электронасосах (см. раздел 1.2.3), значение потребляемой мощности и КПД являются общими для электродвигателя и насоса. В этом случае потребляемая мощность будет обозначаться как P_1 .

Обычно характеристики насоса соответствуют ISO 9906 (Приложение А), где указаны допустимые отклонения:

- $Q \pm 9\%$,
- $H \pm 7\%$,
- $P \pm 9\%$,
- $\eta \pm 7\%$.

Далее будут кратко описаны различные характеристики насоса.

Напор, характеристика Q–H

Характеристика Q–H показывает напор, который насос способен создавать при данном расходе. Напор измеряется в метрах [м]. Преимущество измерения напора насоса в метрах состоит в том, что характеристика Q–H не зависит от типа перекачиваемой насосом жидкости; для более подробной информации см. раздел 2.2.

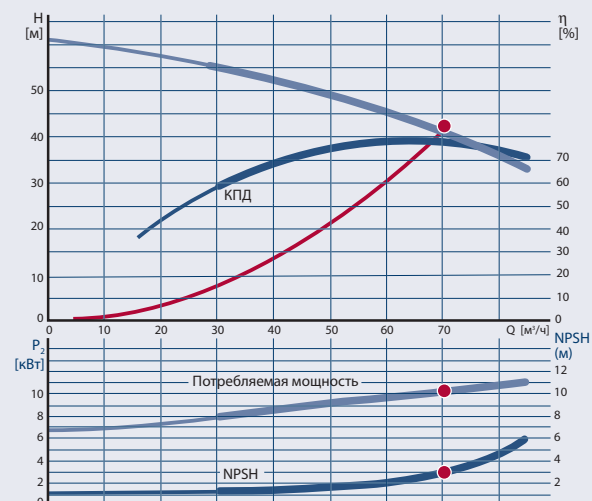


Рис.1.1.4: Типичные рабочие характеристики центробежного насоса. Напор, потребляемая мощность, КПД и NPSH представлены как функции расхода

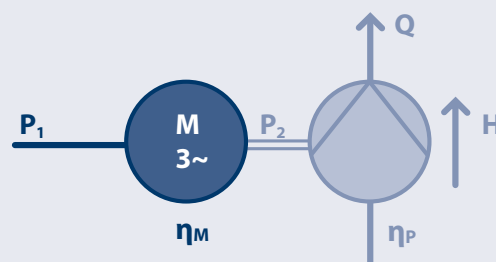


Рис.1.1.5: Характеристики потребляемой мощности и КПД действительны только для насосной части – P_2 и η_p

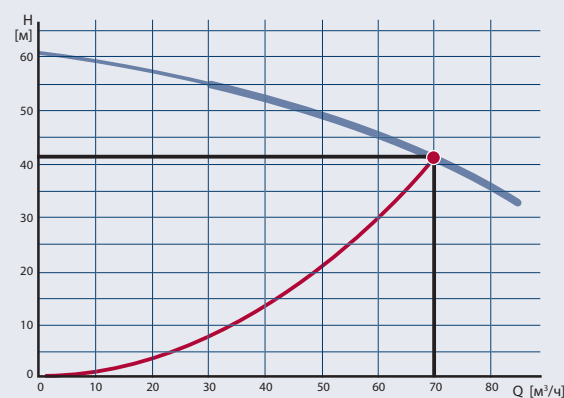


Рис.1.1.6: Характеристика Q–H центробежного насоса. Чем ниже расход, тем выше напор, и наоборот, чем выше расход, тем ниже напор

КПД, характеристика — η

КПД – характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии; определяется отношением полезно использованной энергии к суммарному количеству энергии, полученному системой. Для насосов при определении КПД (η_p) используется отношение мощности, сообщаемой насосом жидкости (P_H) к мощности на валу электродвигателя (P_2):

$$\eta_p = \frac{P_H}{P_2} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{P_2}$$

где:

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/сек²;

Q – расход, м³/сек;

H – напор, м.

Для воды с температурой 20°C, расходом Q — в м³/ч и напором в метрах [м], гидравлическая мощность может быть определена по формуле:

$$P_H = 2,72 \cdot Q \cdot H \text{ [Вт]}$$

Как видно из η -характеристики, КПД зависит от рабочей точки насоса. Следовательно, очень важен выбор насоса, отвечающего требованиям по расходу и гарантирующего работу в зоне максимального КПД.

Потребляемая мощность, характеристика P_2

Зависимость между потребляемой мощностью насоса и расходом показана на рис. 1.1.8. Характеристика мощности P_2 большинства центробежных насосов такая же, как изображена на рис. 1.1.8, где значение мощности P_2 увеличивается при увеличении расхода.

Характеристика NPSH (кавитационный запас насоса)

Значение NPSH насоса является минимальным абсолютным давлением (см. раздел 2.2.1), которое необходимо создать на всасывающем патрубке насоса во избежание кавитации. Значение NPSH измеряется в метрах [м] и зависит от расхода: при увеличении расхода увеличивается и значение NPSH (рис. 1.1.9). Более подробная информация о кавитации и характеристике NPSH представлена в разделе 2.2.1.

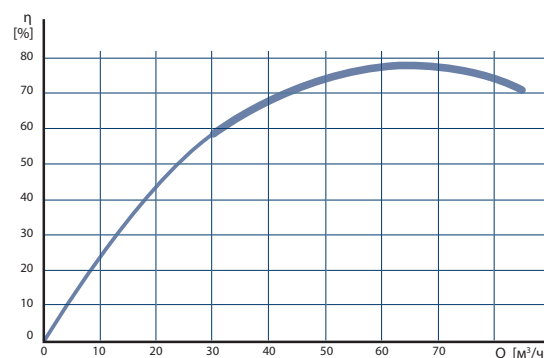


Рис.1.1.7: Характеристика КПД типичного центробежного насоса

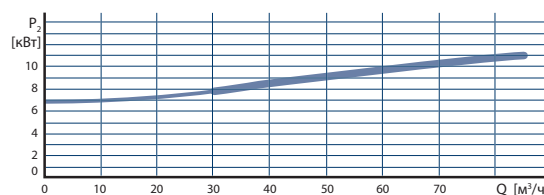


Рис.1.1.8: Характеристика потребляемой мощности типичного центробежного насоса

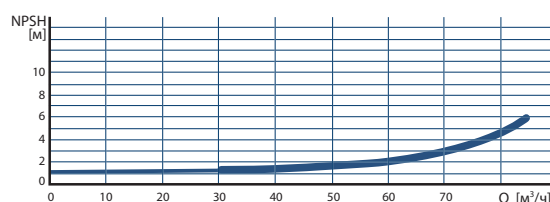


Рис.1.1.9: Характеристика NPSH типичного центробежного насоса

1.1.3. Характеристики центробежных насосов

Центробежные насосы имеют несколько конструктивных особенностей, и в этом разделе мы коснемся наиболее важных. Кроме того, здесь мы постараемся дать Вам больше информации о разных типах насосов.

- **Количество ступеней**

В зависимости от количества рабочих колес, центробежный насос может быть одноступенчатым либо многоступенчатым.

- **Расположение вала насоса**

Одноступенчатые и многоступенчатые насосы могут быть с горизонтальным или вертикальным расположением вала. Эти насосы обычно являются либо горизонтальными, либо вертикальными. Более подробная информация представлена в разделе 1.1.4.

- **Рабочие колеса одностороннего и двухстороннего входа**

В зависимости от конструкции рабочих колес, насос может быть оснащен рабочим колесом одностороннего либо двухстороннего входа. Более подробная информация представлена в разделе 1.1.5.

- **Соединение ступеней**

Ступени насоса могут быть установлены двумя способами: последовательно или параллельно, см. рис.1.1.10.

- **Конструкция корпуса насоса**

Мы различаем два типа корпуса насоса: спиралевидный корпус (улитка) и корпус с патрубками «в линию». Более подробная информация представлена в разделе 1.1.6.



Рис.1.1.10: Сдвоенный насос — две параллельно соединенные насосные части в одном корпусе

1.1.4. Наиболее распространенные насосы консольного типа и типа «ин-лайн»



Консольный насос

— поток жидкости направляется в центр рабочего колеса. Всасывающий и напорный патрубки расположены под углом 90° (см. раздел 1.1.9).

Насос «ин-лайн»

— жидкость проходит через насос напрямую. Всасывающий и напорный патрубки расположены в линию один напротив другого, поэтому насос может монтироваться непосредственно в трубопровод.

Насос двухстороннего входа

— насос с горизонтальным разъемом корпуса (см. раздел 1.2.2).

Горизонтальный насос

— насос с горизонтально расположенным валом.

Вертикальный насос

— насос с вертикально расположенным валом.

Одноступенчатый насос

— насос с одним рабочим колесом (см. раздел 1.1.7).

Многоступенчатый насос

— насос с несколькими последовательно установленными рабочими колесами (см. раздел 1.1.8).

Насос с соединительной муфтой

— насосная часть соединена с двигателем с помощью упругой муфты. Электродвигатель и насосная часть имеют разные конструкции подшипников.

Моноблочный насос

— рабочее колесо закреплено на валу электродвигателя (см. раздел 1.1.9).



1.1.5. Типы рабочего колеса (осевые силы)

Центробежный насос создает напор, который в свою очередь создает нагрузку, действующую как на неподвижные части, так и на вращающиеся элементы насоса.

Все детали насоса выполнены таким образом, чтобы компенсировать нагрузку. Если осевые и радиальные силы в насосе не сбалансированы, они должны быть приняты во внимание при выборе электродвигателя для насоса (радиально-упорный подшипник в электродвигателе). В консольных насосах с рабочим колесом одностороннего входа могут возникать значительные осевые нагрузки (рис.1.1.11 и 1.1.12). Такие нагрузки компенсируются следующим образом:

- Механически, с помощью упорного подшипника. Этот тип подшипника специально сконструирован для компенсации осевых сил, возникающих от рабочих колес.
- С помощью разгрузочных отверстий в рабочем колесе (см. рис.1.1.13).
- С помощью дросселирующего зазора на тыльной стороне рабочего колеса (см. рис.1.1.14).
- Динамической разгрузкой за счет импеллерных лопаток на тыльной стороне рабочего колеса (см. рис.1.1.15).
- Осевая нагрузка может быть сбалансирована путем использования рабочих колес двухстороннего входа (см. рис.1.1.16).

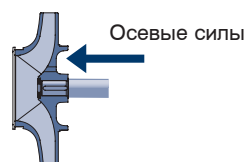


Рис.1.1.11: Рабочее колесо одностороннего всасывания

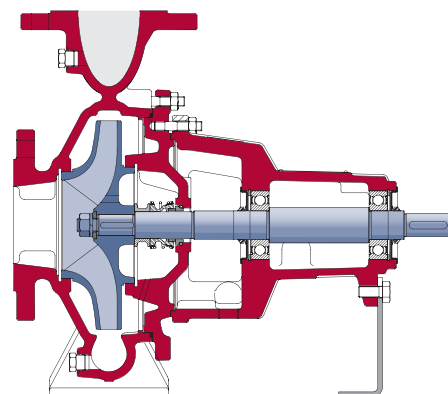


Рис.1.1.12: Стандартный насос с рабочим колесом одностороннего всасывания

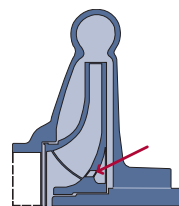


Рис.1.1.13: Баланс осевых сил в одноступенчатом центробежном насосе с разгрузочными отверстиями

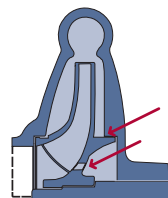


Рис.1.1.14: Баланс осевых сил в одноступенчатом центробежном насосе с уплотнительными зазорами в напорной части и разгрузочными отверстиями

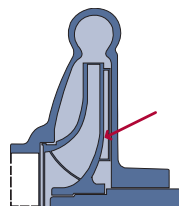


Рис.1.1.15: Баланс осевых сил в одноступенчатом центробежном насосе с лопастями на задней части рабочих колес

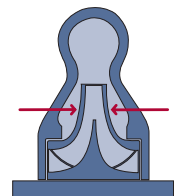


Рис.1.1.16: Баланс осевых сил в насосе двухстороннего входа



1.1.6. Типы корпуса (радиальные силы)

Радиальная нагрузка возникает в результате действия статического давления в корпусе насоса. При этом в насосе может возникать отклонение оси рабочего колеса от оси корпуса. Величина и направление радиальной силы зависят от расхода и напора.

При разработке конструкции корпуса насоса необходимо учитывать действие гидравлических радиальных сил. Два типа корпуса насосов заслуживают особого внимания: одинарный спиральный и двойной спиральный корпус. Как видно из рис.1.1.18, оба корпуса имеют форму спирали. Отличаются они тем, что двойной спиральный корпус оснащен направляющим аппаратом.

Насос с одинарным спиральным корпусом характеризуется симметричным давлением в спиральной части при оптимальном значении КПД, что ведет к нулевому значению радиальной нагрузки. При всех остальных значениях КПД, давление вокруг рабочего колеса не является постоянным, вследствие чего возникают радиальные силы.

Как видно из рис.1.1.19, в двойном спиральном корпусе имеет место небольшая постоянная радиальная сила при любой производительности.

Обратные каналы (рис.1.1.20) применяются в многоступенчатых насосах и выполняют ту же функцию, что и спиральный корпус. Жидкость направляется от одного рабочего колеса к другому, одновременно скорость вращения воды снижается, а динамическое давление преобразуется в статическое. Благодаря конструкции корпуса с обратным каналом радиальные силы в насосе отсутствуют.

1.1.7. Одноступенчатые насосы

Одноступенчатые насосы применяются в основном там, где требуемый напор не превышает 150 м. Обычно эти насосы работают в диапазоне напора от 2 м до 100 м.

Одноступенчатые насосы характеризуются созданием достаточно низкого напора относительно расхода (см. рис. 1.1.3). Эти насосы имеют как горизонтальную, так и вертикальную конструкцию (см. рис.1.1.21 и 1.1.22).

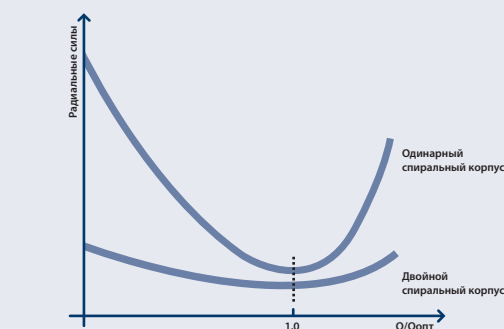
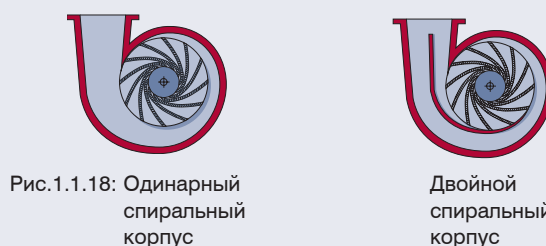


Рис.1.1.19: Радиальная сила для одинарного и двойного спиральных корпусов

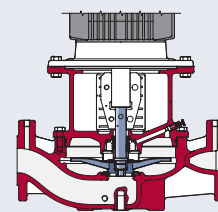
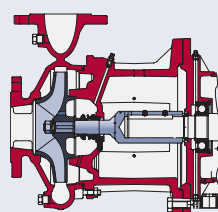
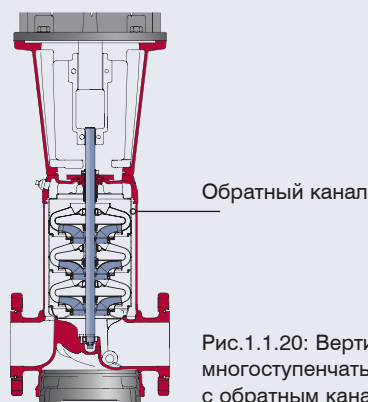


Рис.1.1.21: Горизонтальный одноступенчатый консольно-моноблочный насос

Рис.1.1.22: Вертикальный одноступенчатый моноблочный насос «ин-лайн»

1.1.8 Многоступенчатые насосы

Многоступенчатые насосы применяются там, где необходимо создать высокий напор. Несколько ступеней соединены последовательно, и поток жидкости направляется от выходного отверстия одной ступени к входному отверстию следующей. Окончательная величина напора, которую может обеспечить многоступенчатый насос, равна суммарному напору, создаваемому на каждой ступени.

Преимуществом многоступенчатых насосов является то, что они обеспечивают достаточно высокий напор при относительно небольшом расходе. Аналогично одноступенчатому насосу, эти насосы существуют как в вертикальном, так и в горизонтальном исполнении (см. рис. 1.1.23 и 1.1.24).

1.1.9 Насосы с соединительной муфтой и моноблочные насосы

Насосы с соединительной муфтой

Насосы с соединительной муфтой — это насосы с упругой муфтой, которая соединяет насос с электродвигателем. При таком виде соединения используется как обычная муфта, так и муфта с промежуточным элементом.

Если электродвигатель соединен с насосной частью с помощью обычной муфты, то при техническом обслуживании насосной части (замена уплотнений) необходим демонтаж электродвигателя. При этом по завершении всех работ насос необходимо отцентровать (см. рис. 1.1.25).

Если же насос оснащен муфтой с промежуточным элементом, то при техническом обслуживании нет необходимости в демонтаже электродвигателя. В этом случае также не требуется и отцентровка насоса (если при этом положение насосной части и электродвигателя не менялось) — см. рис. 1.1.26.

Моноблочные насосы

Моноблочные насосы бывают двух видов:

- Насосы, в которых рабочее колесо располагается на удлиненном валу электродвигателя
- Насосы, соединенные со стандартным электродвигателем с помощью глухой муфты или муфты с промежуточным элементом (см. рис. 1.1.27 и 1.1.28).

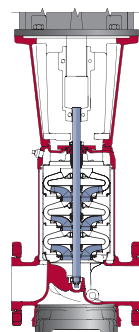


Рис. 1.1.23: Вертикальный многоступенчатый «ин-лайн» насос

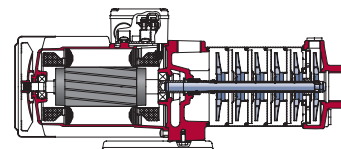


Рис. 1.1.24: Горизонтальный консольный многоступенчатый насос

Рис. 1.1.25: Насос с обычной муфтой

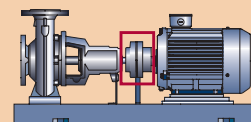


Рис. 1.1.26: Насос с муфтой с промежуточным элементом

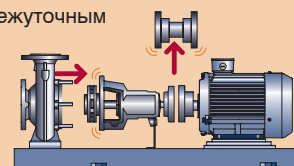
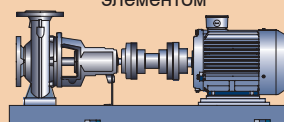


Рис. 1.1.27: Моноблочный насос с глухой муфтой

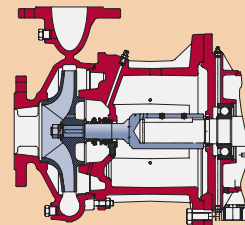


Рис. 1.1.28: Различные типы соединений

	Обычная муфта	Муфта с промежуточным элементом
Насос с упругой муфтой		
Моноблочный насос с глухой муфтой		



1.2.1. Стандартные насосы

Центробежные насосы изготавливаются в соответствии с несколькими международными стандартами. Фактически, многие страны имеют свои собственные стандарты, которые более или менее соответствуют друг другу. Стандартным насосом является такой насос, который соответствует определенным официальным требованиям, например, к рабочей точке насоса. Существует два основных международных стандарта, используемых при производстве насосов:

- EN 733 (DIN 24255) применяется для центробежных насосов, известных как насосы для воды с рабочим давлением (PN) 10 бар.
- EN 22858 (ISO 2858) применяется для центробежных насосов, известных как стандартные химические насосы с рабочим давлением (PN) 16 бар (см. приложение К).

Вышеуказанные стандарты определяют установочные размеры и рабочие точки для различных типов насосов. Гидравлические части насосов не регламентируются этими международными стандартами и определяются самим производителем.

Насосы, сконструированные в соответствии со стандартами, предпочтительнее для конечного потребителя, так как в этом случае не возникает проблем при сервисном обслуживании и покупке запасных частей.

1.1.2. Насосы двухстороннего входа

Насосы двухстороннего входа — это насосы, корпус которых разделен по оси на две части. На рис.1.2.4 изображен одноступенчатый насос двухстороннего входа. Такая конструкция исключает возникновение осевых сил, что обеспечивает продолжительный срок службы подшипников. Как правило, насосы двухстороннего входа имеют довольно высокий КПД, удобны в обслуживании и обладают достаточно широким диапазоном рабочих характеристик.



Рис.1.2.1: Стандартный насос с соединительной муфтой

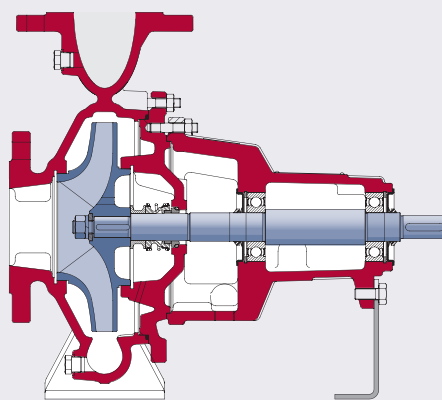


Рис.1.2.2: Стандартный насос с открытым валом



Рис.1.2.3: Насос двухстороннего входа с соединительной муфтой

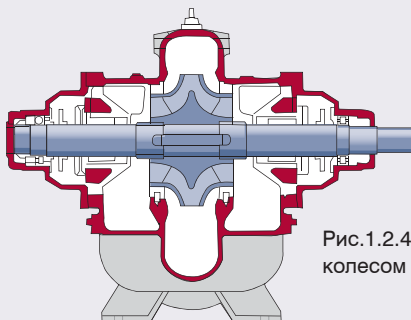


Рис.1.2.4: Насос с рабочим колесом двухстороннего входа

1.2.3. Насосы с герметичным уплотнением

Часть вала, выходящая из проточной части насоса, должна быть уплотнена. Обычно это осуществляется с помощью механических уплотнений вала (см. рис.1.2.5). Недостатком механического уплотнения является его низкая устойчивость к токсичным или агрессивным жидкостям, что ведет к возникновению протечек. Эти проблемы в некоторой степени могут быть разрешены путем использования двойных механических уплотнений. Другим решением этого вопроса является применение насосов с герметичным уплотнением.

Мы различаем два типа насосов с герметичным уплотнением: насосы с герметичным электродвигателем и насосы с приводом через магнитную муфту. В следующих двух разделах Вы получите дополнительную информацию об этих насосах.

Насосы с мокрым ротором

Насос с мокрым ротором — это насос с герметичным уплотнением, у которого гидравлическая часть и электродвигатель объединены в единый узел без уплотнителей (см. рис.1.2.6 и 1.2.7). Перекачиваемая жидкость сначала направляется в роторную камеру, которая отделена от статора с помощью тонкой гильзы ротора. В этом случае гильза ротора играет роль герметично уплотненного барьера между жидкостью и электродвигателем. Химические насосы обычно изготавливаются из таких материалов, как пластик или нержавеющая сталь, которые способны противостоять агрессивным жидкостям.

Наиболее распространенным типом насоса с мокрым ротором является циркуляционный насос. Этот тип насоса обычно используется в контурах отопления, т.к. его конструкция обеспечивает низкий уровень шума и бесперебойную работу, не требующую технического обслуживания.



Рис.1.2.5: Пример стандартного насоса с механическим уплотнением вала

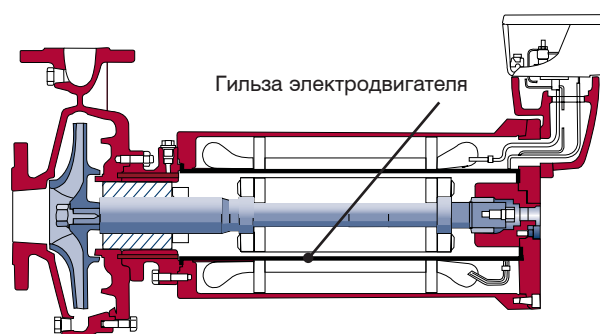


Рис.1.2.6: Химический насос с герметичным электродвигателем

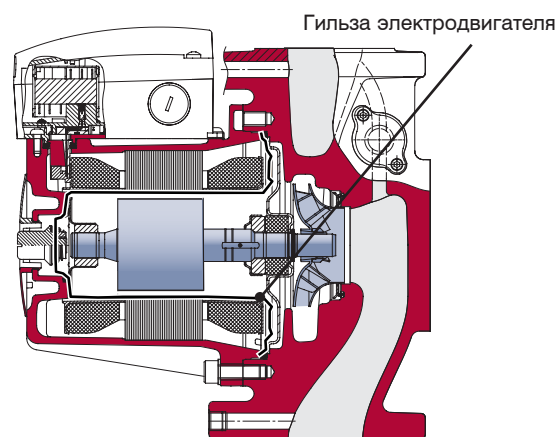


Рис.1.2.7: Циркуляционный насос с мокрым ротором

Насос с приводом через магнитную муфту

Не так давно приобрели большую популярность насосы с приводом через магнитную муфту для перекачивания агрессивных или токсичных жидкостей.

Как показано на рис.1.2.8, этот насос состоит из двух магнитов: внутреннего и внешнего. Эти два магнита разделены между собой специальной гильзой, изготовленной из немагнитизирующегося материала. Гильза выполняет роль герметичного уплотнительного барьера между жидкостью и атмосферой. Как видно из рис.1.2.9, внешний магнит соединен с электродвигателем, а внутренний — с валом насоса. Таким образом, вращающий момент от электродвигателя передается на вал самого насоса. При этом перекачиваемая жидкость служит смазкой для подшипников. Следовательно, наличие достаточного количества жидкости очень важно для обеспечения длительного срока службы подшипников.

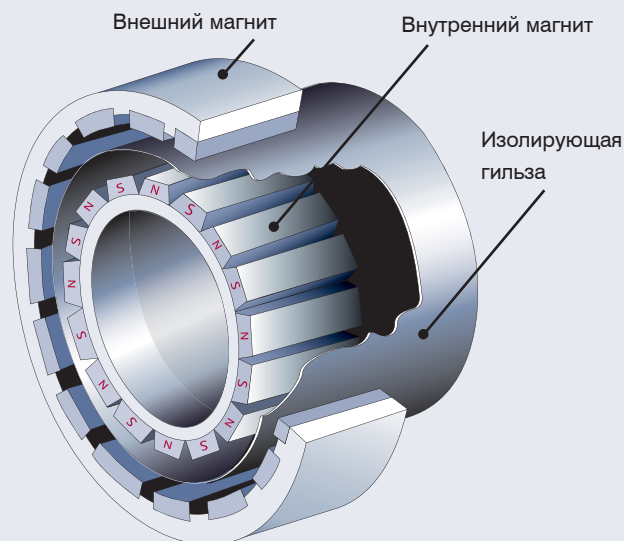


Рис.1.2.8: Конструкция привода с электромагнитной муфтой

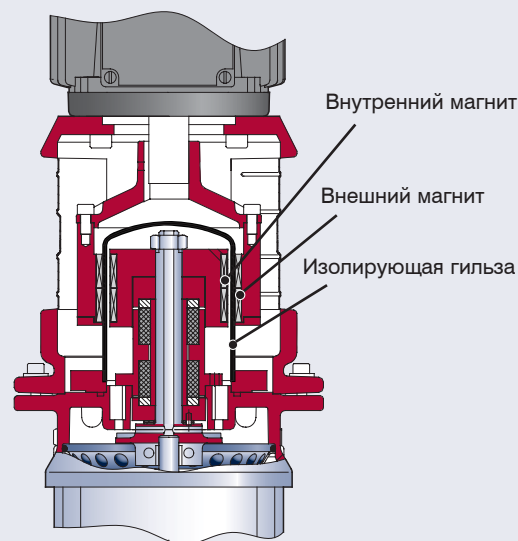


Рис.1.2.9: Многоступенчатый насос с приводом через магнитную муфту

1.2.4. Пищевые и фармацевтические насосы

Эти насосы в основном используются при производстве продуктов питания, напитков, в фармацевтической промышленности и биотехнологиях, где необходимо бережное обращение с перекачиваемыми жидкостями и удобство промывки насоса.

Для соответствия технологическим стандартам, принятым в этих отраслях промышленности, шероховатость поверхности проточной части насосов должна быть в диапазоне между 3,2 и 0,4 μm Ra. Это может быть достигнуто использованием при изготовлении насосов ковальной или катаной нержавеющей стали (см. рис.1.2.12). Эти материалы имеют плотную непористую поверхность, которая легко подвергается механической обработке до соответствия требуемым параметрам по шероховатости.

Основными критериями для оценки пищевых и фармацевтических насосов являются удобство их промывки и простота в обслуживании.

Пищевые и фармацевтические насосы ведущих производителей изготавливаются в соответствии со следующими стандартами:

EHEDG — Еврокомиссия по проектированию санитарно-гигиенического оборудования

QHD — Проектирование с соблюдением правил гигиены

3-A — Гигиенические стандарты:

3A0/3A1: Гигиенический стандарт

$Ra \leq 3,2 \mu\text{m}$

3A2: Стандарт стерильности

$Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$

3A3: Стандарт стерильности

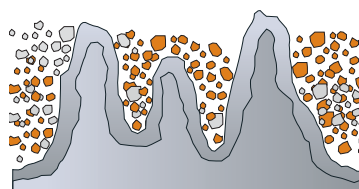
$Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$



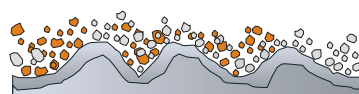
Рис.1.2.10: Одноступенчатый центробежный насос в гигиеническом исполнении



Рис.1.2.11: Самовсасывающий насос в гигиеническом исполнении



Литье в песчаные формы



Прецизионное литье



Катаная сталь

Рис.1.2.12: Шероховатость поверхности материалов

1.2.5. Канализационные насосы

Канализационный насос представляет собой закрытый блок, включающий в себя насос и электродвигатель. Благодаря своей конструкции этот насос удобен для установки в колодце. При монтаже таких насосов с автоматической муфтой обычно используются направляющие трубы. Автоматическая муфта облегчает обслуживание, ремонт и монтаж насоса. На практике, возможно подключение и отключение насоса на расстоянии от места его установки. Возможна и сухая установка канализационных насосов в вертикальном или горизонтальном положении. Такой способ установки облегчает обслуживание и ремонт, а также обеспечивает бесперебойную работу насоса в случае затопления колодца (см. рис.1.2.14). Канализационные насосы могут перекачивать крупные частицы, так как оснащены специальными рабочими колесами, позволяющими избежать блокировки и закупорки гидравлической части. Существуют следующие типы рабочих колес: одноканальные, многоканальные (с двумя, тремя, четырьмя и более каналами). На рис.1.2.15 показаны различные конструкции рабочих колес.

Обычно канализационные насосы бывают с сухим электродвигателем, класса защиты IP68 (более подробная информация по IP-классам защиты представлена в разделе 1.4.1). Электродвигатель и насос имеют общий удлиненный вал с системой двойного механического уплотнения, находящегося в промежуточной масляной камере (см. рис.1.2.13).

Канализационные насосы при необходимости способны работать в режиме пуск-останов или в течение продолжительного времени.



Рис.1.2.13: Канализационный насос в разрезе для монтажа в колодце

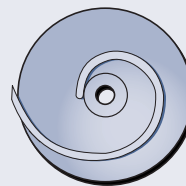


Рис.1.2.14: Канализационный насос при сухом монтаже

Вихревое рабочее колесо



Одноканальное рабочее колесо



Двухканальное рабочее колесо

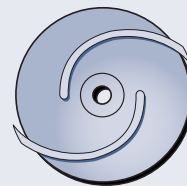


Рис.1.2.15: Типы рабочих колес для канализационных стоков

1.2.6. Полупогружные насосы

К полупогружным относятся такие насосы, у которых во время работы насосная часть находится в перекачиваемой жидкости, а электродвигатель — нет. Обычно эти насосы крепятся в верхней части или на стенках резервуаров, в которых находится перекачиваемая жидкость. Полупогружные насосы широко применяются в машиностроении при механической и шлифовальной обработке, при обработке на многоцелевых станках и в охлаждающих устройствах, а также в системах водоподготовки, промышленной фильтрации и мойки.

Насосы, используемые при механической обработке, подразделяются на две группы: насосы для чистой стороны фильтра и насосы для грязной стороны фильтра. Насосы с закрытыми рабочими колесами обычно используются для чистой стороны фильтра, т. к. они при необходимости обеспечивают высокую производительность и высокое давление. Насосы с открытыми или полуоткрытыми рабочими колесами применяются для грязной стороны фильтра, т. к. они способны перекачивать жидкость, содержащую металлическую стружку и другие частицы.

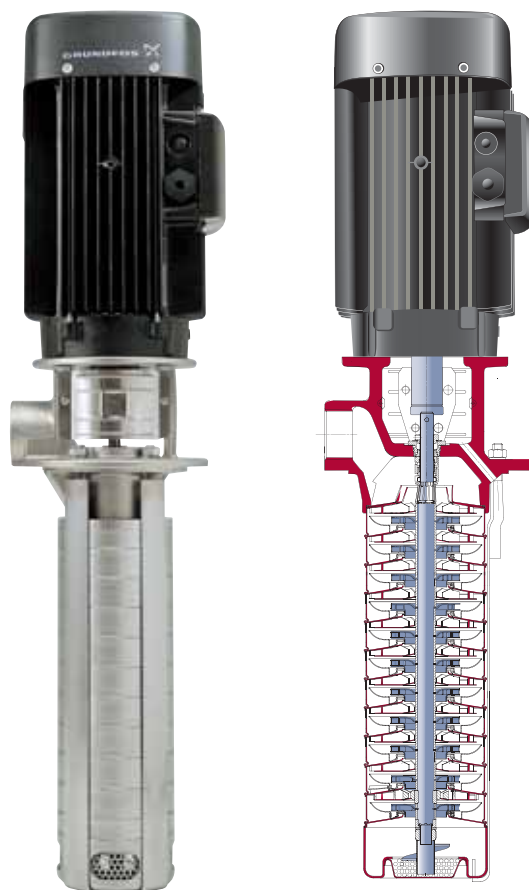


Рис.1.2.6: Полупогружные насосы

1.2.7. Скважинные насосы

Существует два типа скважинных насосов: погружной скважинный насос с погружным электродвигателем и глубинный (штанговый) скважинный насос с сухим электродвигателем, соединенным с насосом длинным валом. Такие насосы обычно используются при подаче воды и орошении. Оба типа насосов изготавливаются для установки в глубоких и узких скважинах и, следовательно, имеют небольшой диаметр и увеличенную по сравнению с другими типами насосов длину (см. рис.1.2.17).

Скважинные насосы специально разработаны для работы будучи погруженными в жидкость, и поэтому оснащены погружным электродвигателем, с классом защиты IP68. Насос может быть как одноступенчатым, так и многоступенчатым (версия многоступенчатого насоса используется наиболее часто), в верхней части насоса имеется обратный клапан.

В настоящее время глубинные насосы заменяются погружными скважинными насосами. Длинный вал глубинного насоса является его недостатком, т. к. затрудняет выполнение монтажа и обслуживание. В связи с тем, что электродвигатель глубинного насоса охлаждается воздухом, глубинный насос часто используется в промышленности для перекачивания горячей воды из резервуаров. Погружной тип насоса не может перекачивать жидкость с высокой температурой, потому что электродвигатель такого насоса охлаждается перекачиваемой жидкостью. Существуют специальные исполнения погружных насосов для перекачивания горячей воды до 90°C, при этом необходимо учитывать подпор на входе в насос для обеспечения бескавитационной работы.

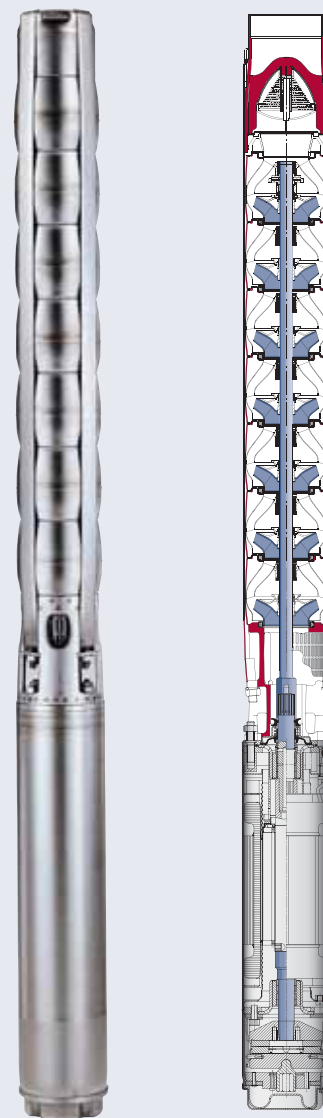


Рис.1.2.17: Погружной скважинный насос

1.2.8. Объемные насосы

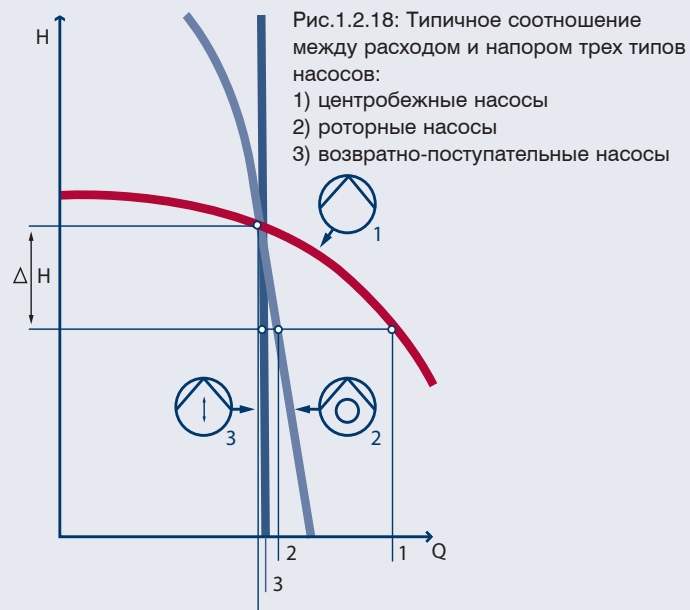
Объемный насос обеспечивает приблизительно постоянный расход при фиксированной скорости, несмотря на изменения в противодавлении. Существуют два типа объемных насосов:

- Роторные насосы
- Возвратно-поступательные насосы.

Разница в характеристиках между центробежным, роторным и возвратно-поступательным насосами представлена на рис. 1.2.18. В зависимости от применяемого насоса, небольшое изменение противодавления приводит к различным изменениям расхода.

Изменение расхода центробежного насоса является значительным, расход роторного изменяется немного, а расход возвратно-поступательного насоса практически не меняется. Чем же объясняется разница между характеристиками возвратно-поступательного насоса и роторного? В действительности, уплотнительная поверхность роторного насоса больше, чем возвратно-поступательного. Таким образом, даже если два насоса имеют одни и те же допустимые отклонения, то потери через зазоры роторного насоса будут больше.

Обычно для получения максимально высокого КПД и всасывающей способности насосы изготавливаются с минимальными зазорами. Однако в некоторых случаях необходимо увеличить величину зазора, напри-



мер, при изготовлении насоса для перекачивания жидкостей с высокой вязкостью, жидкостей, содержащих различные частицы, и жидкостей с высокой температурой.

Объемные насосы являются пульсирующими, это означает, что их объемный расход внутри цикла не постоянен.

Изменение расхода и скорости ведет к колебаниям давления из-за сопротивления в системе трубопровода и клапанах.



Рис. 1.2.19: Классификация объемных насосов



1.2.9. Дозировочные насосы

Дозировочные насосы принадлежат к группе поршневых насосов и, как правило, к мембранному типу. Такие насосы не имеют протечек, т. к. мембрана является защитным уплотнением между жидкостью и деталями насоса.

Мембранный насос оснащен двумя обратными клапанами: один расположен на всасывающей части, а другой — на напорной. Для мембранных насосов используется несколько видов приводов. Рассмотрим наиболее часто используемые.

Электромагнитный привод. Мембрана дозировочного насоса приводится в движение электромагнитом, который при подаче напряжения на обмотки высвобождает подпружиненный шток толкателя. Возврат штока производится с помощью возвратной пружины. Таким образом производится точное количество необходимых рабочих тактов (см. рис.1.2.21).

Асинхронный привод. Мембрана дозировочного насоса приводится в движение эксцентриком, с которым контактирует подпружиненный толкатель. Эксцентрик вращается посредством стандартного асинхронного электродвигателя (см. рис.1.2.22).

Расход мембранного насоса регулируется двумя способами: с помощью изменения длины хода соединительной тяги или количества рабочих тактов. Для увеличения рабочего диапазона насоса, на насосы с асинхронным приводом может устанавливаться преобразователь частоты (см. рис.1.2.22).

Шаговый привод. Существует еще один тип мембранных насосов, в котором мембрана и шток жестко связаны с двигателем, и ход мембраны контролируется двигателем в любой момент времени (см. рис.1.2.20 и 1.2.23). При использовании шагового электродвигателя увеличивается диапазон регулирования насоса и значительно улучшается точность его работы.

Насосы с шаговым приводом позволяют очень легко производить контроль за всасывающей и напорной сторонами насоса. В сравнении с традиционными насосами с электромагнитным приводом, который создает мощные пульсации, насосы с шаговым приводом дают возможность плавного дозирования.



Рис.1.2.20: Дозировочный насос

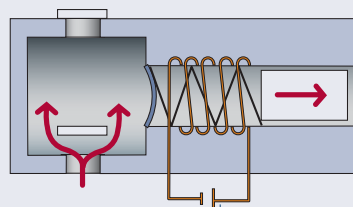


Рис.1.2.21: Электромагнитный привод

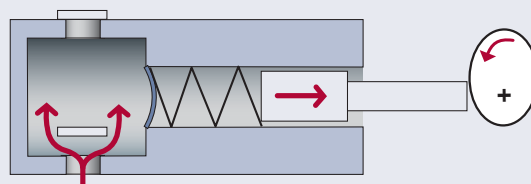


Рис.1.2.22: Асинхронный привод

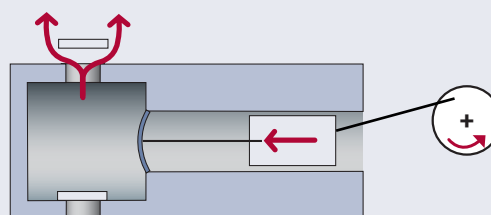


Рис.1.2.23: Шаговый привод

Раздел 1.3. Механические уплотнения вала

1.3.1. Компоненты и функции механического уплотнения вала

1.3.2. Сбалансированные и несбалансированные уплотнения вала

1.3.3. Типы механических уплотнений вала

1.3.4. Комбинации материалов уплотнительных поверхностей

1.3.5. Факторы, влияющие на характеристики уплотнений



Раздел 1.3

Механические уплотнения вала

С середины 50-х годов прошлого столетия механические уплотнения вала получили широкое распространение, придя на смену традиционным методам уплотнения — сальниковой набивке (сальникам). По сравнению с сальниками, механические уплотнения имеют следующие преимущества:

- Сохраняют герметичность при небольших смещениях и вибрациях вала.
- Не требуют регулирования.
- Уплотнительные поверхности обеспечивают незначительное трение и таким образом, минимизируют энергетические потери.
- Вал не проскальзывает относительно каких-либо уплотнительных компонентов, вследствие чего не подвергается повреждениям и быстрому износу.

Механическое уплотнение вала отделяет жидкость от атмосферного воздуха. На рис.1.3.1 представлены примеры установки механических уплотнений в различных типах насосов.

Большинство механических уплотнений производится в соответствии с Европейским стандартом EN 12756. Для подбора механического уплотнения необходимо знать следующие параметры вала и перекачиваемой жидкости, чтобы сделать заключение о стойкости в ней материалов уплотнения:

- Тип перекачиваемой жидкости.
- Давление на уплотнение вала.
- Скорость вращения вала.
- Установочные размеры уплотнения.

На следующих страницах мы опишем принцип работы механических уплотнений вала, типы уплотнений, материалы, из которых они изготавливаются, и факторы, влияющие на их характеристики.

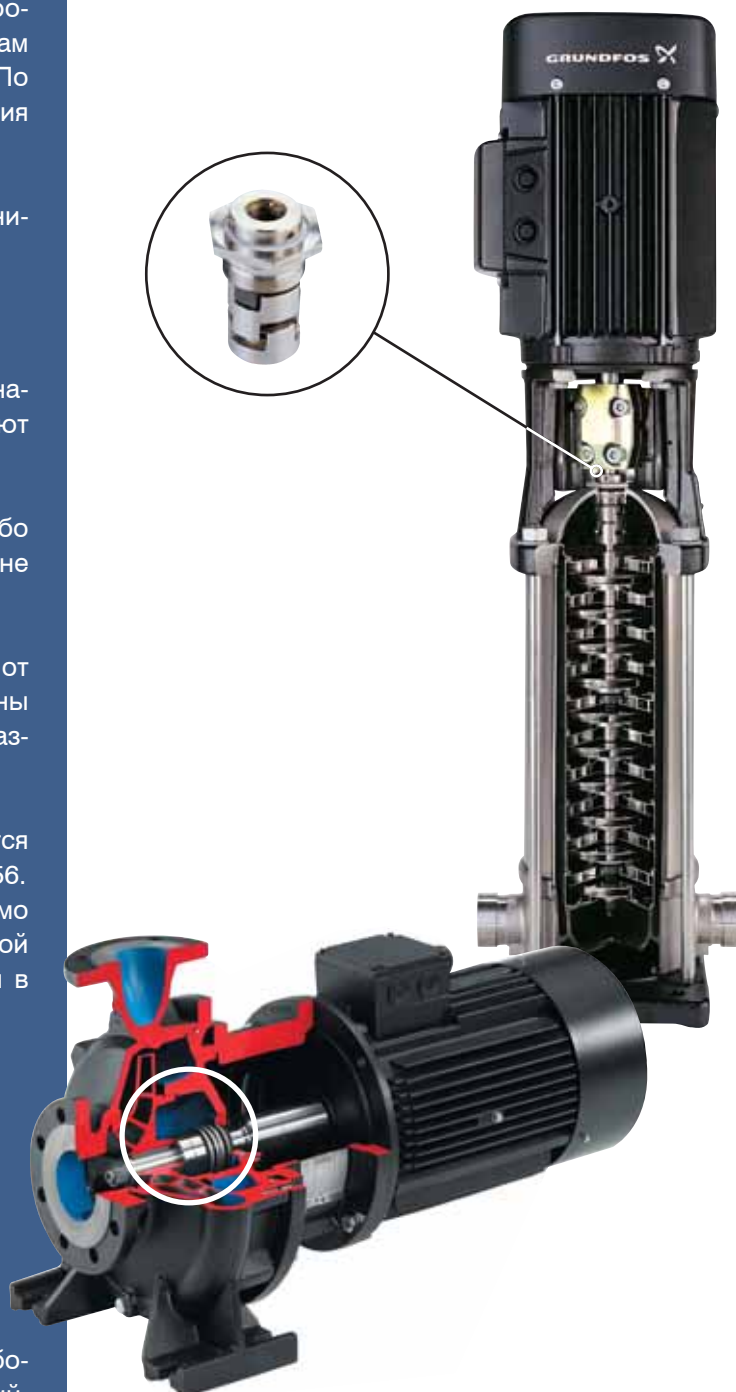


Рис.1.3.1: Насосы с механическими уплотнениями вала

1.3.1. Компоненты и функции механического уплотнения вала

Механическое уплотнение вала состоит из двух компонентов: вращающейся части и неподвижной части — и включает в себя элементы, представленные на рис.1.3.2. На рис.1.3.3 показаны места расположения этих элементов непосредственно в уплотнении.

- Неподвижная часть уплотнения закреплена на корпусе насоса. Вращающаяся часть зафиксирована на валу и вращается вместе с ним во время работы насоса.
- Две первичные уплотняющие поверхности давят друг на друга посредством пружины и давления жидкости. Во время работы в узком зазоре между двумя уплотняющими поверхностями образуется жидкостная пленка, которая испаряется (см. рис. 3.4).
- Вторичные уплотнители предотвращают протечку между уплотнением и валом.
- Пружина сжимает уплотнительные поверхности.
- Держатель пружины передает крутящий момент от вала на уплотнительную поверхность, а в случае сильфонного уплотнения — на сильфон.

Уплотнительный зазор

Во время работы жидкость образует между уплотняющими поверхностями смазывающую пленку. Эта пленка имеет гидростатическую и гидродинамическую части.

- Гидростатическая часть пленки образуется из перекачиваемой жидкости, которая заполняет зазор между уплотняющими поверхностями.
- Гидродинамическая часть образуется путем давления, создаваемого вращающимся валом.

Механическое уплотнение вала	Основные части
Вращающаяся часть	уплотняющая поверхность (первичное уплотнение)
	вторичное уплотнение
	пружина
	держатель пружины (передача крутящего момента)
Неподвижная часть	опорная поверхность (уплотняющие поверхности, первичное уплотнение)
	статическое уплотнение (вторичное уплотнение)

Рис.1.3.2: Компоненты механического уплотнения вала

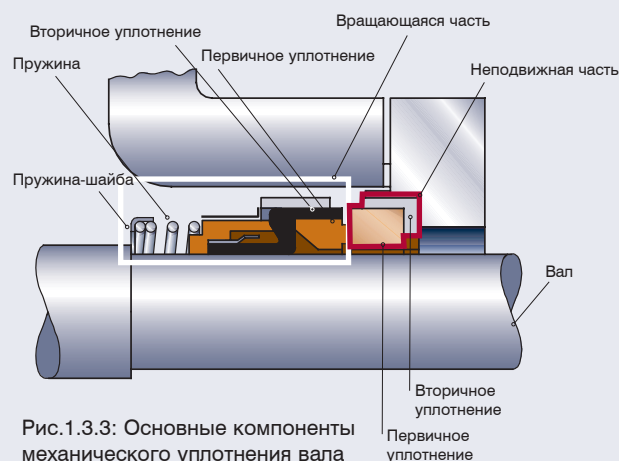


Рис.1.3.3: Основные компоненты механического уплотнения вала

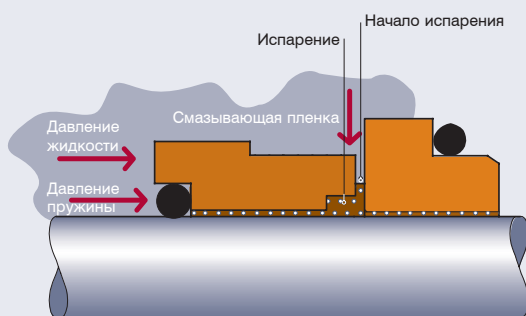


Рис.1.3.4: Механическое уплотнение вала в работе

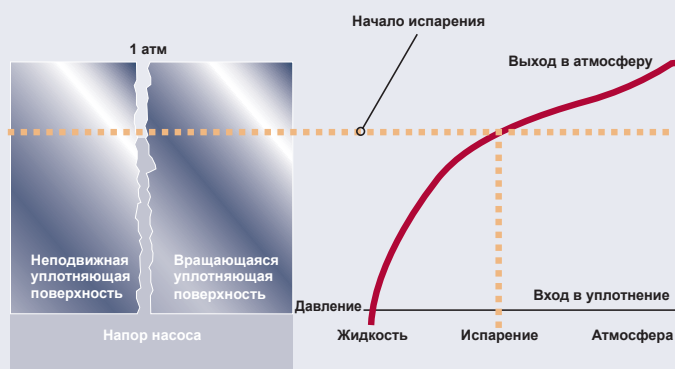


Рис.1.3.5: Оптимальное соотношение между смазывающими свойствами жидкости и снижением протечек

Плотность смазывающей пленки зависит от скорости вращения вала насоса, температуры жидкости, ее вязкости и действия осевых сил механического уплотнения вала. Жидкость в уплотнительном зазоре постоянно меняется в связи с:

- испарением жидкости в атмосферу
- циркуляцией жидкости

На рис.1.3.5 представлено оптимальное соотношение между смазывающими свойствами и снижением протечки. Оптимальным это соотношение будет в том случае, когда смазывающая пленка покрывает весь уплотнительный зазор, за исключением очень тонкой зоны испарения, где уплотнение соприкасается с воздухом.

Иногда имеют место протечки, которые можно заметить по отложениям на поверхностях уплотнения. При использовании хладагентов отложения образуются очень быстро со стороны контакта уплотнения с воздухом.

Во время испарения микроскопические твердые частицы, содержащиеся в жидкости, остаются в зазоре уплотнителя в виде отложений и ускоряют износ материалов уплотнения.

Такие отложения образуются при использовании многих типов жидкостей. Но в случаях, когда перекачиваемая жидкость имеет способность к кристаллизации, износ наступает очень быстро. Наилучшим способом избежать износа является выбор уплотняющих поверхностей, изготавливаемых из твердых материалов, таких как карбид вольфрама (WC) или карбид кремния (SiC).

Узкий уплотняющий зазор между этими материалами (приблиз. 0,3 мкм RA) минимизирует риск появления отложений в зазоре и, таким образом, сводит количество отложений к нулю.

1.3.2. Сбалансированные и несбалансированные уплотнения вала

Для достижения необходимого давления между первичными уплотняющими поверхностями применяются два вида уплотнений вала: сбалансированное и несбалансированное.

Сбалансированное уплотнение вала

На рис.1.3.6 представлено сбалансированное уплотнение вала, а также изображены силы, воздействующие на уплотнение.

Несбалансированное уплотнение вала

На рис.1.3.7 представлено несбалансированное уплотнение вала, а также изображены силы, воздействующие на уплотнение.

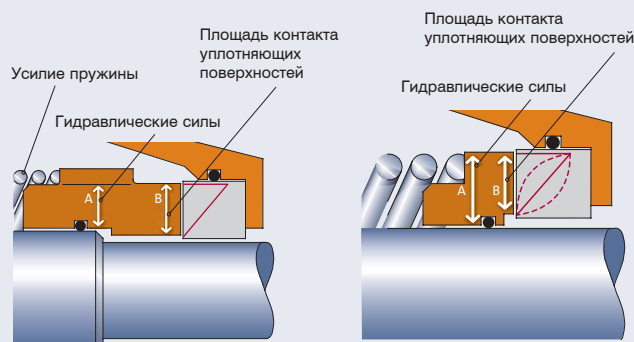


Рис.1.3.6: Действие сил на сбалансированное уплотнение вала

Рис.1.3.7: Действие сил на несбалансированное уплотнение вала

На уплотняющие поверхности воздействуют несколько разных осевых сил. Усилие пружины и гидравлическое давление перекачиваемой жидкости воздействуют на уплотнение одновременно до тех пор, пока смазывающая пленка в уплотнительном зазоре не начнет противодействовать этому. В связи с тем, что давление жидкости очень высоко, гидравлические силы могут быть настолько мощными, что смазка в уплотнительном зазоре не сможет противостоять контакту между уплотняющими поверхностями. Так как гидравлическая сила прямо пропорциональна площади поверхности, на которую давит жидкость, осевое воздействие может быть снижено путем уменьшения площади поверхности, на которую оказывается воздействие.

Балансировочный коэффициент механического уплотнения вала определяется как отношение между площадями поверхностей А и В: $K = A / B$, где

K — балансировочный коэффициент

A — площадь поверхности, на которую оказывается гидравлическое давление

B — площадь контакта уплотняющих поверхностей.

Для сбалансированных уплотнений вала балансировочный коэффициент обычно составляет $K=0,8$, а для несбалансированных уплотнений вала он равен приблизительно $K=1,2$.

1.3.3. Типы механических уплотнений вала

Далее будут рассмотрены основные типы механических уплотнений: кольцевое, сильфонное и картриджное.

Кольцевые уплотнения

В этом случае уплотнение между вращающимся валом и вращающейся уплотняющей поверхностью осуществляется с помощью кольца (рис.1.3.9). Кольцевое уплотнение должно свободно перемещаться в осевом направлении для компенсации осевых смещений, происходящих в результате изменений температуры и износа. Неправильная установка неподвижной опорной поверхности ведет к истиранию и быстрому износу уплотнения и вала. Кольцевые уплотнения изготавливаются из различных типов резин, таких как NBR, EPDM и FKM. Выбор материала зависит от условий эксплуатации насоса.

Сильфонные уплотнения

Основным элементом сильфонных уплотнений являются резиновые или металлические сильфоны, которые работают как динамический уплотняющий элемент между вращающимся кольцом и валом.

Резиновые сильфонные уплотнения

Сильфоны резиновых сильфонных уплотнений (рис.1.3.10) изготавливаются из таких материалов, как NBR, EPDM и FKM, в зависимости от условий работы.

Сравнение степени износа

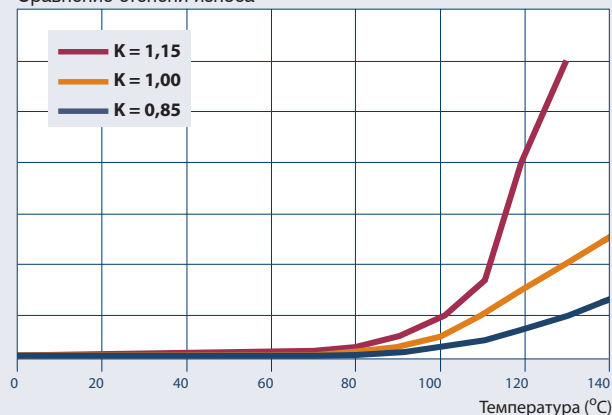


Рис. 1.3.8: Степени износа при различных балансировочных коэффициентах

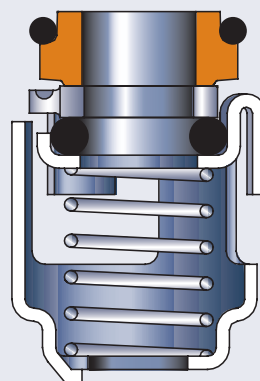


Рис.1.3.9: Кольцевое уплотнение

Преимущества и недостатки кольцевого уплотнения

Преимущества:

Подходит для работы с горячей жидкостью и при высоком давлении.

Недостатки:

На валу образуются отложения, например ржавчина, которые могут препятствовать осевому движению кольцевого уплотнения.

Резиновое сильфонное уплотнение

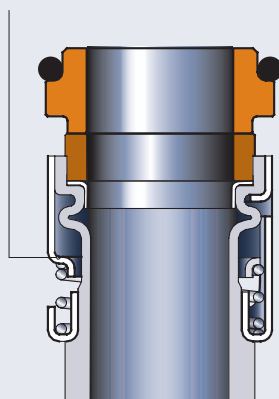


Рис. 1.3.10: Резиновое сильфонное уплотнение

Преимущества и недостатки резинового сильфонного уплотнения

Преимущества:

На валу нет отложений, таких как ржавчина

Может использоваться при перекачивании жидкостей, содержащих твердые частицы.

Недостатки:

Не подходит для работы с горячими жидкостями и при высоком давлении.

Металлические сильфонные уплотнения

В обычном механическом уплотнении вала силу, необходимую для сжатия уплотняющих поверхностей, создает пружина. В металлическом сильфонном уплотнении (рис.1.3.11) пружина заменена на металлический сильфон. Металлический сильфон действует и как динамическое уплотнение между вращающимся кольцом и валом, и как пружина. Сильфоны имеют определенное количество гофрированных складок, создающих требуемую силу.

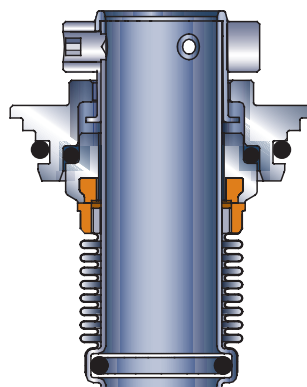


Рис.1.3.11: Картриджный металлический сильфонный уплотнитель

Преимущества:

На валу не образуются отложения, такие как ржавчина и известь.

Подходит для перекачивания горячих жидкостей и работы при высоком давлении.

Низкий балансирующий коэффициент ведет к незначительному износу и, следовательно, обеспечивает более продолжительный срок службы.

Недостатки:

Возможно усталостное разрушение уплотнения, если при монтаже насос был плохо оцентрирован.

Усталостное разрушение возможно также при чрезмерных температурах или давлении.

Картриджные уплотнения

В картриджных механических уплотнениях вала все составляющие части объединены в единый блок, готовый к установке. Такое уплотнение имеет множество преимуществ по сравнению с обычными механическими уплотнениями (рис. 1.3.12).

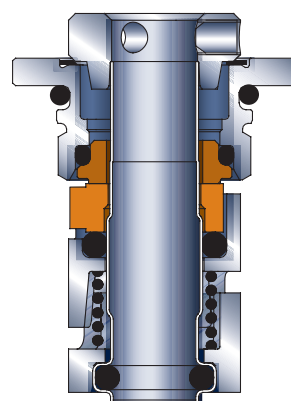


Рис.1.3.12: Картриджное уплотнение

Преимущества картриджного уплотнения:

- Удобство обслуживания насоса
- Конструкция защищает уплотняющие поверхности
- Предварительно нагруженная пружина
- Безопасность

Промывка

Во многих случаях можно расширить температурный диапазон эксплуатации механического уплотнения вала, установив устройство промывки (см. рис. 1.3.13). С его помощью снижается температура механического уплотнения и уменьшается количество отложений. Устройство промывки может располагаться внутри или вне корпуса насоса. Внутренняя промывка производится, когда поток жидкости от напорного фланца к уплотнению невелик. Внутренняя промывка изначально используется для предотвращения нагрева уплотнения насоса, установленного в системе отопления. Внешняя промывка производится промывочной жидкостью и используется для обеспечения бесперебойной работы при перекачивании абразивных жидкостей или жидкостей, содержащих твердые частицы, способные привести к засорению.



Рис.1.3.13: Трубка для капиллярного подвода охлаждающей жидкости к уплотнению вала

Двойные механические уплотнения вала

Двойные механические уплотнения вала используются в случае быстрого износа одинарных уплотнений, причиной которого является образование твердых отложений, очень высокая/низкая температура перекачиваемой жидкости и высокое давление. Также двойные уплотнения применяются при работе с токсичными, агрессивными и взрывоопасными жидкостями с целью защиты окружающей среды. Существуют два типа двойных механических уплотнений: двойное уплотнение с расположением «tandem» (тандем) и двойное уплотнение с расположением «back-to-back» (спина к спине).

Двойное уплотнение типа «tandem»

Этот тип двойного уплотнения состоит из двух механических уплотнений, установленных последовательно, один за другим, и расположенных в отдельной уплотнительной камере (см. рис. 1.3.14).

Такой тип уплотнения применяется, когда перекачивают летучие жидкости или жидкости с абразивом.

Последовательно установленное уплотнение должно снабжаться запирающей жидкостью, которая:

- Адсорбирует протечки
- Дает возможность отслеживать количество протечек
- Смазывает и охлаждает внешнюю часть уплотнения во избежание кристаллизации перекачиваемой жидкости
- Защищает от работы всухую
- Стабилизирует смазывающую пленку
- Защищает насос от попадания в него воздуха в случае образования вакуума.

Давление в уплотнительной камере всегда должно быть ниже, чем давление перекачиваемой жидкости в проточной части.

Схема с замкнутой циркуляцией (термосифон)

Схема тандемного уплотнения с замкнутой циркуляцией представлена на рис.1.3.14. Запирающая жидкость из напорного бака циркулирует в уплотнении с помощью термосифона, или насоса.

Тупиковая схема

Этот вариант применяется в случае, если нет необходимости в отводе тепла. Движение запирающей жидкости показано на рис.1.3.15.

Проточная схема

Запирающая жидкость проходит через камеру уплотнения и отводится в накопительный резервуар для последующей утилизации или непосредственно в дренажную систему (см. рис. 1.3.16).

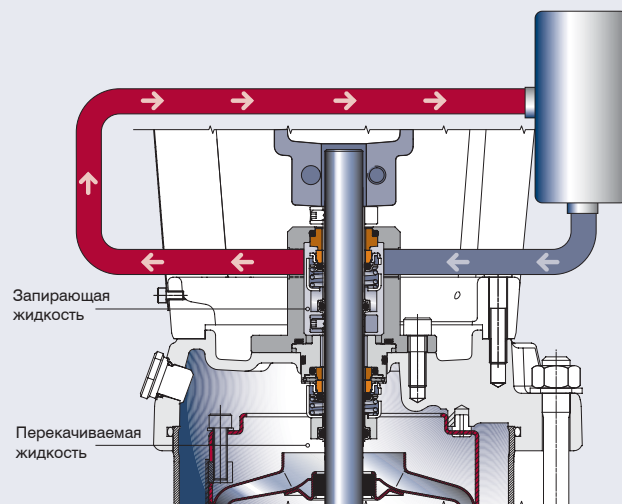


Рис.1.3.14: Тандемное уплотнение по схеме с замкнутой циркуляцией

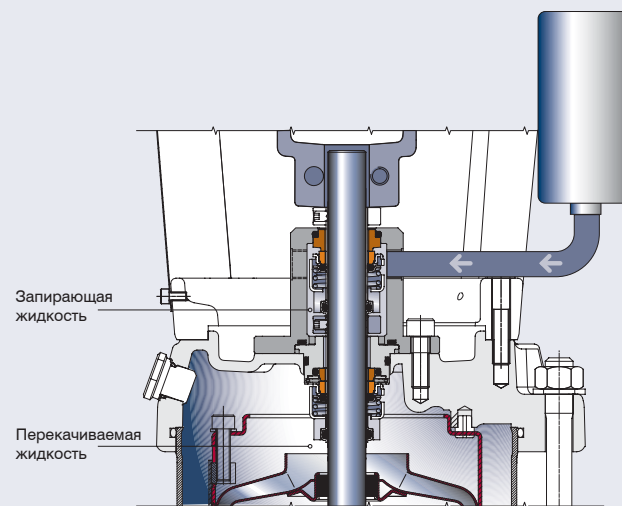


Рис.1.3.15: Тандемное уплотнение по тупиковой схеме

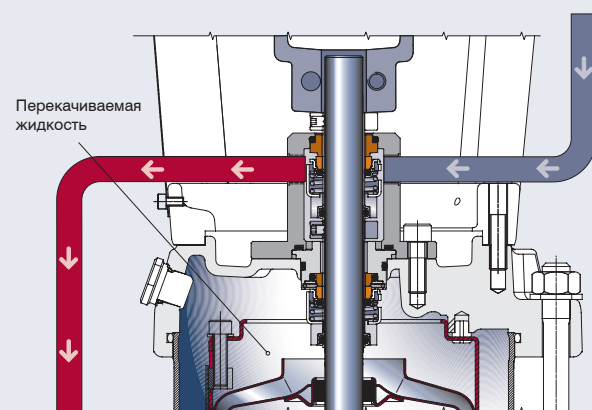


Рис.1.3.16: Тандемное уплотнение по проточной схеме

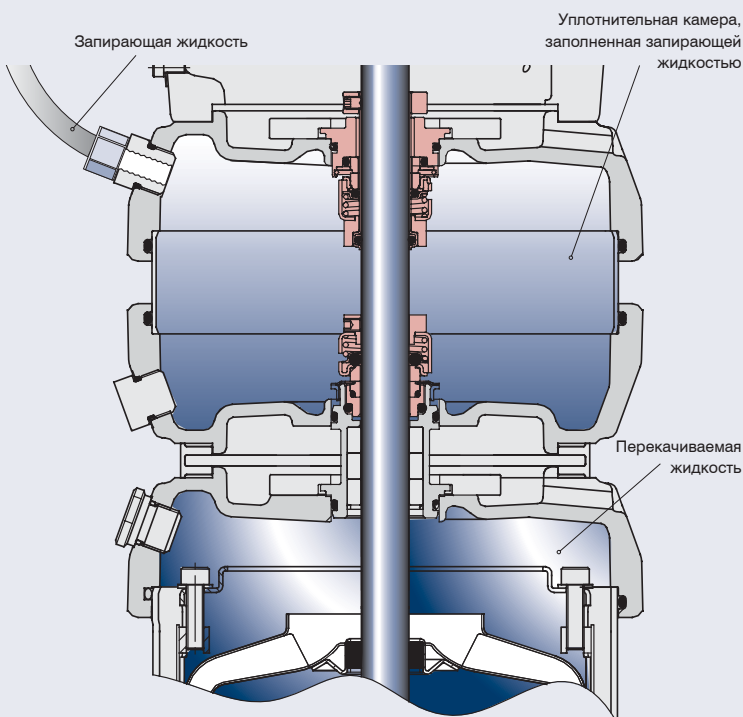


Рис.1.3.17: Двойное уплотнение типа «back-to-back»

Двойное уплотнение типа «back-to-back»

Такой тип уплотнения является оптимальным решением для перекачивания абразивных, агрессивных, вязких и клейких жидкостей, способствующих быстрому износу, повреждению или блокировке механического уплотнения вала. Двойное уплотнение «back-to-back» состоит из двух уплотнений, соединенных торцевыми частями «спина к спине» в отдельной камере (см. рис. 1.3.17).

Давление в камере уплотнения должно быть на 1–2 бара выше, чем давление в проточной части насоса. Такое давление может быть создано с помощью:

- Создания дополнительного источника давления. Во многих случаях используются встроенные системы повышения давления.
- Отдельного насоса, например дозировочного.

1.3.4. Комбинации материалов уплотняющих поверхностей

Далее мы рассмотрим наиболее часто используемые пары трения механических уплотнений вала:

- Карбид вольфрама / карбид вольфрама
- Карбид кремния / карбид кремния
- Графит / карбид вольфрама
- Графит / карбид кремния

Карбид вольфрама/карбид вольфрама (WC/WC)

Цементированный карбид вольфрама — это твердый материал, состоящий из твердого сплава (карбида вольфрама (WC)) и обычно более мягкого связующего металла. Правильное техническое название — «цементированный карбид вольфрама», но для удобства используют упрощенное название — «карбид вольфрама» (WC).

Твердый сплав порошка карбида вольфрама с кобальтом в качестве связующего металла является коррозионно-стойким к воде и используется в насосах, сделанных из таких металлов, как, например, чугун.

Твердый сплав карбида вольфрама с хромоникель-молибденовым сплавом обладает коррозионной стойкостью, соответствующей стандарту EN 14401.

Металлизированный, без связующего компонента, карбид вольфрама имеет высокие антикоррозионные свойства. Несмотря на это, стойкость к таким жидкостям, как гипохлорит, у него невысока. Пара карбид вольфрама / карбид вольфрама имеет следующие свойства:

- Высокая износостойкость
- Высокая надежность
- Неустойчива при работе «всухую». В этом случае температура в течение нескольких минут увеличивается до нескольких сотен градусов по Цельсию, и кольцевые уплотнения повреждаются.

При увеличении давления и температуры в уплотнении может возникать шум. Шум в уплотнении говорит о неверном режиме эксплуатации и повышенном износе. Продолжительность использования уплотнений зависит от диаметра уплотняющей поверхности и конструкции уплотнения.

Для пары уплотняющих поверхностей WC/WC время притирочного прогона, когда может появиться шум, продолжается 3–4 недели, хотя обычно в течение первых 3–4 дней шум отсутствует.

Карбид кремния / карбид кремния (SiC/SiC)

Пара карбид кремния / карбид кремния (SiC/SiC) является альтернативой рассмотренной выше паре (WC/WC) и применяется при высоких требованиях к коррозионной стойкости.

Пара SiC / SiC обладает следующими свойствами:

- Очень хрупкий материал, требующий бережного обращения
- Высокая износостойкость
- Высокая коррозионная стойкость. Карбид кремния SiC (Q_1^S , Q_1^P , Q_1^G) почти не подвержен воздействию коррозии, независимо от типа перекачиваемой жидкости. Исключением является вода с низкой проводимостью, такая как деминерализованная, которая воздействует на ионы карбида кремния (варианты Q_1^S и Q_1^P), однако Q_1^G устойчив к такой жидкости.
- Обычно низкая устойчивость к сухому ходу, но вариант Q_1^G/Q_1^G способен кратковременно выдерживать работу всухую за счет содержащегося в нем графита.

Существуют следующие типы карбида кремния, для различных вариантов применения:

Q_1^S , спеченый либо цементированный, мелкозернистый карбид кремния

Полученный в процессе вакуумного спекания, мелкозернистый карбид кремния имеет обладает небольшой пористостью.

Многие годы этот тип карбида кремния использовался как стандартный материал для механического уплотнения вала. Ограничения по давлению и температуре для этой пары немного ниже, чем для карбида вольфрама (WC/WC).

Q_1^P , спеченый либо цементированный, мелкозернистый карбид кремния

Это один из типов спеченого либо цементированного карбида кремния, который имеет большие, округлые, закрытые поры. Уровень пористости составляет 5–15%, размер пор — 10–50 μm Ra.

Ограничения по давлению и температуре превышают значения для пары материалов карбида вольфрама (WC/WC).

В теплой воде пара Q_1^P/Q_1^P производит меньше шума, чем WC/WC. Несмотря на это, шум от уплотнений из пористого карбида кремния может продолжаться в течение периода притирки 3–4 дня.

Q_1^G , самосмазывающийся, спеченый либо цементированный карбид кремния

В настоящее время используются несколько видов материалов из карбида кремния, содержащих сухие смазочные вещества. Разновидность Q_1^G применяется для использования в дистиллированной или деминерализованной воде, как альтернатива вышеописанным материалам.

Ограничения по давлению и температуре для пары Q_1^G/Q_1^G такие же, как и у материалов Q_1^P/Q_1^P .

Сухое смазывающее вещество — графит — уменьшает трение при работе всухую, что очень важно при работе уплотнения в отсутствие жидкости.

Графит / карбид вольфрама и графит / карбид кремния

Уплотнения, в которых одной из поверхностей является графит, обладают следующими характеристиками:

- Хрупкие, требующие бережного обращения.
- Быстроизнашиваемые при использовании жидкостей, содержащих твердые частицы.
- Хорошая коррозионная стойкость.
- Возможность непродолжительное время работать без жидкости.
- Смазывающее свойство графита позволяет использовать уплотнения даже в условиях с недостаточной смазкой (при высокой температуре) без появления шума. Тем не менее, такие условия могут провоцировать износ графитной уплотняющей поверхности, что ведет к снижению срока службы. Износ уплотнения зависит от давления, температуры, площади поверхностей трения, типа жидкости и конструкции уплотнения. Низкие скорости уменьшают смазку между уплотняющими поверхностями; в результате может иметь место быстрый износ. Но обычно это случается редко, т. к. расстояние, на которое уплотняющие поверхности должны сдвинуться, уменьшится.

- Армированный графит (А) имеет более низкую коррозионную стойкость, но при этом более высокую механическую прочность, удельную теплопроводность и, следовательно, низкий износ.
- Синтетический полимеризованный углерод (В) обладает меньшей механической прочностью, но большей коррозионной стойкостью. Он хорошо себя зарекомендовал при работе с питьевой водой.
- Использование пары графит / карбид кремния для работы с горячей водой может привести к значительному износу поверхности карбида кремния, в зависимости от качества графита и воды. Такой тип износа возможен при использовании пары Q_1^S /графит. Использование материалов Q_1^P , Q_1^G или графит/WC намного уменьшает износ. Таким образом, для работы с горячей водой рекомендуется использовать следующие пары материалов: графит/WC, графит/ Q_1^P или графит/ Q_1^G .

1.3.5. Факторы, влияющие на характеристики уплотнений

Анализируя вышесказанное, можно прийти к выводу, что не существует совершенных уплотнений. Далее мы опишем факторы, оказывающие влияние на характеристики уплотнений — это энергопотребление, шум и утечки. Каждый фактор будет рассмотрен отдельно. Тем не менее, очень важно заметить, что они тесно взаимосвязаны и должны рассматриваться как единое целое.

Энергопотребление

Для того чтобы заставить уплотнение вала вращаться, нужно затратить некоторую энергию. На энергопотребление влияют следующие факторы:

- Центробежные силы вращающихся частей насоса. Энергопотребление значительно увеличивается при увеличении скорости вращения.
- Трение уплотняющих поверхностей.
Трение между уплотняющими поверхностями складывается из:
 - трения в тонкой жидкостной пленке
 - трения в точках контакта между уплотняющими поверхностями.

Уровень энергопотребления зависит от конструкции уплотнения, условий смазки и материалов уплотняющих поверхностей.

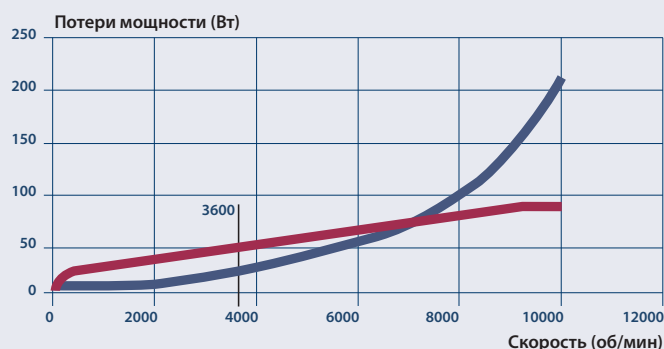


Рис.1.3.18: Энергопотребление механического уплотнения вала диаметром 12 мм.

— Центробежные силы
— Трение

На рис. 1.3.18 показан типичный пример энергопотребления механического уплотнения. Из диаграммы видно, что при скорости до 3600 об/мин трение является основным фактором, влияющим на энергопотребление механического уплотнения.

Энергопотребление является очень важным фактором при использовании сальниковых уплотнений. Как видно из примера, замена сальниковых уплотнений на механические ведет к значительной экономии энергии (см. рис. 1.3.19).

Шум

Выбор материалов уплотняющих поверхностей является решающим фактором, влияющим на эксплуатационные качества и срок службы механических уплотнений. Шум в уплотнениях — это результат недостаточной смазки поверхностей трения во время работы с жидкостями низкой вязкости. Вязкость воды уменьшается с увеличением температуры. Это означает, что смазывающая способность снижается с ростом температуры. Если перекачиваемая жидкость достигает или превышает температуру кипения, она начинает испаряться на стороне уплотняющей поверхности, что ведет к ухудшению состояния смазки, снижение скорости вращения имеет тот же эффект (см. рис.1.3.20).

Утечки

Перекачиваемая жидкость является смазкой для поверхности механического уплотнения. При этом лучшая смазка достигается при уменьшении трения и увеличении утечек, и наоборот: уменьшение утечек означает ухудшение состояния смазки и увеличение трения. На практике зависимость между количеством утечек и потерей мощности в механических уплотнениях может меняться. Причиной является то, что утечки зависят от факторов, которые невозможно просчитать теоретически, — они зависят от типа уплотняющих поверхностей, типа жидкости, нагрузки пружины и т. д. Поэтому рис. 1.3.21 должен быть воспринят как общая закономерность.

Для правильного прочтения кривых интенсивности утечек (рис.1.3.21) необходимо определить:

- Шаг 1:** Давление — в этом случае 5 бар.
- Шаг 2:** Тип и размеры уплотнения — несбалансированное уплотнение, диаметром 30 мм.
- Шаг 3:** Скорость вращения вала — 3000 об/мин.
- Шаг 4:** Интенсивность утечек — 0,06 мл/час.

Стандартный насос, 50 mL/C, диаметр вала 50 мм, скорость вала 2900 об/мин	
Энергопотребление:	
сальниковые уплотнения	2 кВт час
механические уплотнения	0,3 кВт час
Утечка:	
сальниковые уплотнения	3,0 л/час (при правильной установке)
механические уплотнения	0,8 мл/час

Рис.1.3.19: Сравнение сальниковых и механических уплотнений.

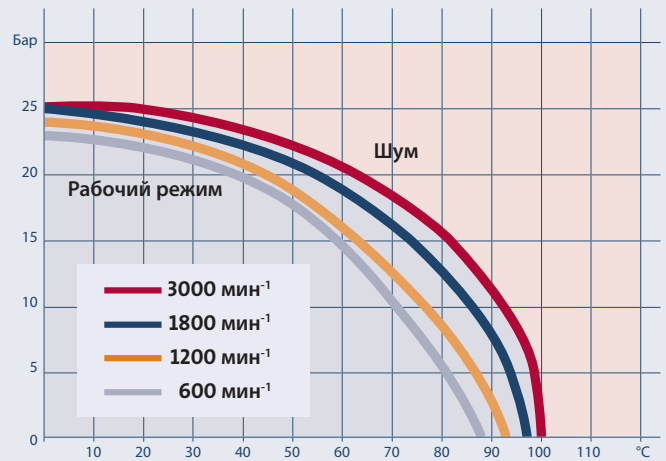


Рис.1.3.20: Связь между рабочим режимом и скоростью вращения вала

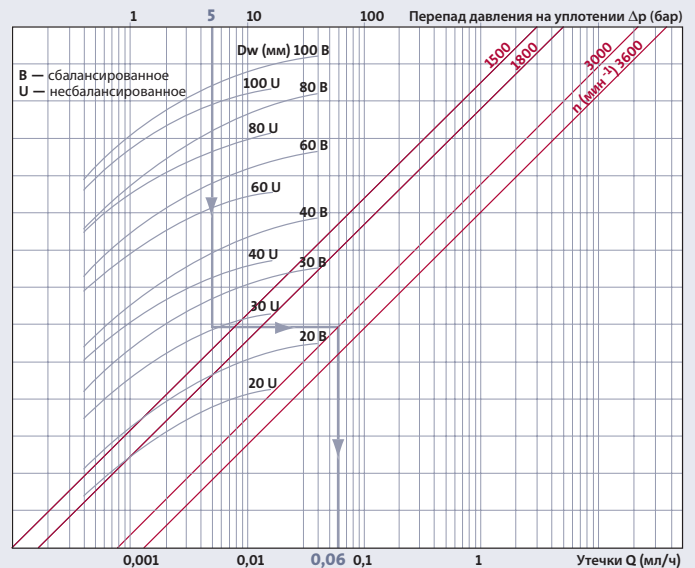


Рис.1.3.21: Интенсивность утечек

Раздел 1.4. Электродвигатели

- 1.4.1. Стандарты
- 1.4.2. Пуск электродвигателя
- 1.4.3. Подключение к электросети
- 1.4.4. Преобразователь частоты
- 1.4.5. Защита электродвигателя

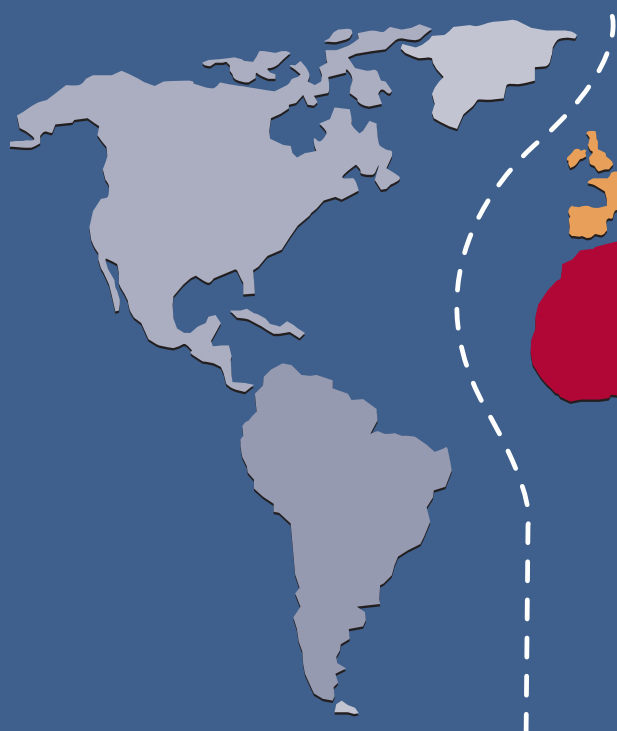


Раздел 1.4

Электродвигатели

Электродвигатели широко применяются во всем мире. Основным назначением электродвигателей является обеспечение вращения вала, посредством преобразования электрической энергии в механическую.

1.4.1. Стандарты



NEMA

Национальная Ассоциация Производителей Электроустройств (NEMA) устанавливает стандарты для широкого диапазона электрических устройств, включая электродвигатели. Вначале NEMA стандартизировала только электродвигатели, используемые на территории Северной Америки. Стандарты отражали главные отраслевые особенности и поддерживались производителями электрооборудования. Эти стандарты можно найти в Публикации Стандартов NEMA No. MG1. Некоторые типоразмеры электродвигателей не подпадают под этот стандарт.



Рис.1.4.1: Электродвигатель

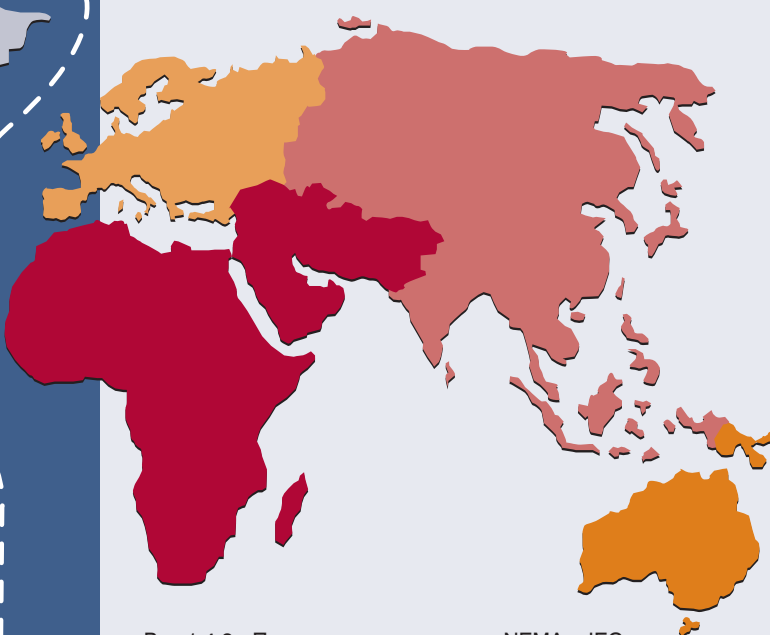


Рис.1.4.2: Применение стандартов NEMA и IEC

IEC

Международная электротехническая комиссия (IEC) устанавливает стандарты для электродвигателей, используемых во многих странах мира. Стандарт IEC 60034 содержит рекомендуемые правила технической эксплуатации электродвигателей, которые дорабатывались представителями стран-участников IEC.



Стандарты и методы защиты — взрывозащищенные исполнения электродвигателей (Ex)

ATEX (Атмосферная взрывоопасность) опирается на две Европейские директивы о взрывах. Директивы ATEX касаются электрического, механического, гидравлического и пневматического оборудования. Что касается механического оборудования, то требования безопасности в директиве ATEX гарантируют работу таких компонентов насоса, как уплотнения вала и подшипники, которые не должны перегреваться и способствовать воспламенению газа и пыли. Первая директива ATEX (94/9/EC) — требования, касающиеся оборудования для использования в местах с повышенной взрывоопасностью. Производитель обязан выполнять все требования и отмечать свой продукт соответствующими категориями. Вторая директива ATEX (99/92/EC) касается соблюдения необходимого минимума безопасности условий труда, которые должны выполняться при работе во взрывоопасных условиях. Существуют разные способы предотвращения воспламенения электрического оборудования. В случае с электродвигателями применяются следующие типы защиты при работе в условиях газообразования: d (во взрывонепроницаемой оболочке); e (повышенная безопасность); nA (не дающие искр). Электродвигатели, предназначенные для работы в пыльной среде, имеют тип защиты DIP — защита от пылевоспламенения.

Электродвигатели во взрывонепроницаемой оболочке — тип защиты EExd (de)

Прежде всего, взрывозащищенные электродвигатели Eexd (тип de) принадлежат к категории 2G оборудования для использования в зоне 1. Корпус статора и фланцы ограждают те части электродвигателя, которые могут воспламенить потенциально взрывоопасную атмосферу. Благодаря такой оболочке электродвигатель способен противостоять давлению, сопровождающему взрыв взрывоопасной смеси, находящейся внутри электродвигателя. Распространение взрыва в окружающую среду, таким образом, не происходит. Параметры оболочки определены стандартом EN 50018. Температурный класс должен всегда соответствовать требуемому диапазону.

Электродвигатели повышенной безопасности — тип защиты EEx (e)

Электродвигатели повышенной безопасности (тип e) относятся к категории оборудования 2G и используются для работы в зоне 1. Эти электродвигатели не имеют взрывонепроницаемой оболочки и не способны про-

тивостоять воспламенению изнутри. Конструкция таких электродвигателей основывается на повышенной безопасности к возможному повышению температуры и возникновению искр и электрических дуг, возникающих как при нормальной работе, так и при поломке.

Рис.1.4.3: Соответствие между зонами и категориями оборудования является минимальным требованием. Если местные требования более жесткие, то необходимо следовать им.

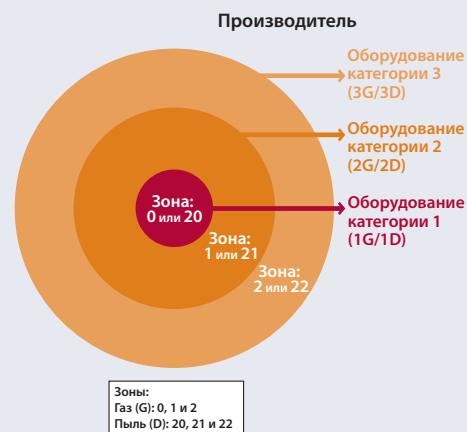


Рис.1.4.4: Оборудование взрывозащищенного исполнения EExd. Пламя, появившееся внутри электродвигателя, не выходит наружу. Температурный класс относится к внешним поверхностям.

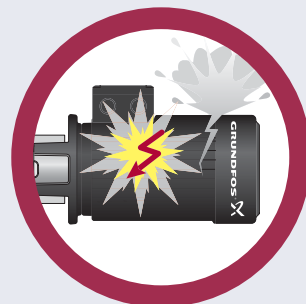


Рис.1.4.5: Оборудование взрывозащищенного исполнения EExe. Искрообразование исключено. Температурный класс относится как к внутренним, так и к наружным поверхностям.

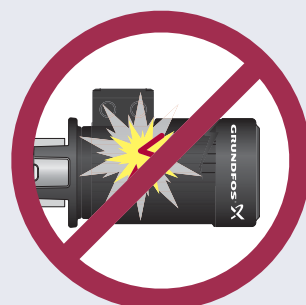
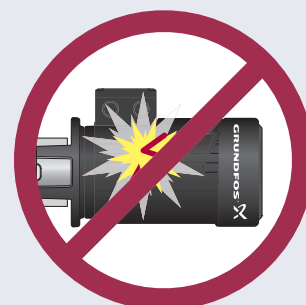


Рис.1.4.6: Оборудование взрывозащищенного исполнения EExnA. Любое возгорание из-за искрообразования исключено.



Раздел 1.4

Электродвигатели

Для электродвигателей повышенной безопасности требования к температурному классу должны соблюдаться как для внутренних, так и для внешних поверхностей и, следовательно, необходимо следить за температурой обмотки статора.

Электродвигатели с защитой от искрообразования — тип защиты Ex (nA)

Электродвигатели с защитой от искрообразования (тип nA) принадлежат к категории 3G и используются для работы в зоне 2. Такие электродвигатели не могут воспламенить потенциально взрывоопасную атмосферу при нормальной работе, см. рис.1.4.6.

Электродвигатели с защитой от пылевоспламенения (DIP)

Существует два типа электродвигателей с защитой от пылевоспламенения: 2D/оборудование категории 2 и 3D/оборудование категории 3.

2D/оборудование категории 2

Во избежание возникновения статического электричества, способствующего воспламенению, охлаждающий вентилятор, установленный на электродвигателе с пылевоспламеняющейся защитой категории 2 DIP для использования в зоне 21 (область с повышенной опасностью воспламенения), изготавливается из металла. Более того: чтобы минимизировать риск воспламенения, необходимо выполнение более серьезных требований к конструкции внешнего зажима заземления. Температурный класс, указанный на фирменной табличке электродвигателя, соответствует рабочим параметрам при наихудших условиях, допустимых для его работы. Электродвигатели, используемые для работы в зоне 21 (области с потенциальной опасностью воспламенения), должны иметь класс защиты IP65, при котором электродвигатели полностью защищены от пыли.

Тип защиты	Код	Стандарты		Использование в категории ATEX/ зона	Принцип	Применение
		CENELEC EN	IEC 60079			
Основные требования	—	50014	— 0	—	Основные электрические требования	Все оборудование
Масляное погружение	o	50015	— 6	Категория 2, Зона 1	Электрические компоненты погружены в масло, таким образом, исключается контакт с атмосферой во избежание воспламенения	Трансформаторы
Герметизация	p	50016	— 2	Категория 2, Зона 1	Оборудование помещено в герметичную оболочку и ограждено от атмосферного воздуха	Шкафы управления и большие электродвигатели
Порошковое наполнение	q	50017	— 5	Категория 2, зона 1	Электрические части покрываются порошком, например кварцевым, чтобы избежать контакта с взрывоопасной атмосферой	Электронные устройства, такие как конденсаторы, плавкие предохранители
Взрывозащита	d	50018	— 1	Категория 2, зона 1	При возникновении внутреннего воспламенения, окружающая атмосфера, благодаря защитной оболочке, не загорится	Электродвигатели переменного тока, панели управления, освещение
Повышенная безопасность	e	50019	— 7	Категория 2, Зона 1	Используются дополнительные методы защиты от возникновения электрических дуг, искр, нагрева поверхностей, способных вызвать воспламенение атмосферы	Электродвигатели переменного тока, распределительные и соединительные коробки, освещение, электродвигатели с короткозамкнутой обмоткой
Искробезопасность	ia	50020	— 11	Категория 1, Зона 0	Электрическая мощность оборудования ограничена, чтобы воспламенение атмосферы из-за искры или перегрева было исключено	Контрольно-измерительное оборудование, например датчики
	ib	50020	— 11	Категория 2, Зона 1		
Инкапсуляция	m	50028	— 18	Категория 2, зона 1	Электрические компоненты залиты разрешенным стандартом материалом для избежания контакта с взрывоопасной атмосферой	Контрольно-измерительное оборудование, электромагнитные клапаны
Тип защиты n	nA	50021	— 15	Категория 3, зона 2	Не дающие искры и электрической дуги	Электродвигатели переменного тока, распределительные коробки, освещение

Примечание: Группа II — Пыльная атмосфера — включена в стандарт CENELEC EN 50281-1-1 и EN50281-1-2

Рис.1.4.7: Стандарты и методы защиты

3D/категория оборудования 3

Температура, указанная на электродвигателе категории 3 DIP для использования в зоне 22 (области с незначительной опасностью воспламенения), соответствует рабочим параметрам при наихудших условиях, допустимых для его работы. Двигатели, работающие в зоне 22, должны соответствовать классу защиты IP55 по пылезащищенности. Разницей между оборудованием 2D/ категории 2 и 3D/ 3 является класс защиты IP.

Монтаж (Международные правила монтажа — IM)

Существует три разных способа монтажа электродвигателей: электродвигатель, монтируемый на лапах; с фланцами типа FF или FT. На рис.1.4.8 показаны различные варианты монтажа электродвигателя и стандарты, применяемые при этом. Монтаж электродвигателей осуществляется в соответствии со стандартами:

- IEC 60034-7, Код 1, обозначение IM, следует за применяемым ранее стандартом DIN 42590.
- IEC 60034-7, код II

Класс защиты (IP)

Класс защиты определяет уровни защиты электродвигателя от проникновения твердых частиц и воды. Класс защиты обозначается двумя буквами IP, за которыми следуют две цифры, например, IP55. Первая цифра указывает уровень защиты от контакта и попадания твердых частиц, а вторая цифра указывает на уровень защиты от проникновения воды, см. рис.1.4.9.

Сливные отверстия отводят воду, появившуюся в корпусе статора при образовании конденсата. Во время работы электродвигателя во влажных условиях, нижние сливные отверстия должны быть открыты. При открытии сливных отверстий класс защиты электродвигателя меняется с IP55 на IP44.

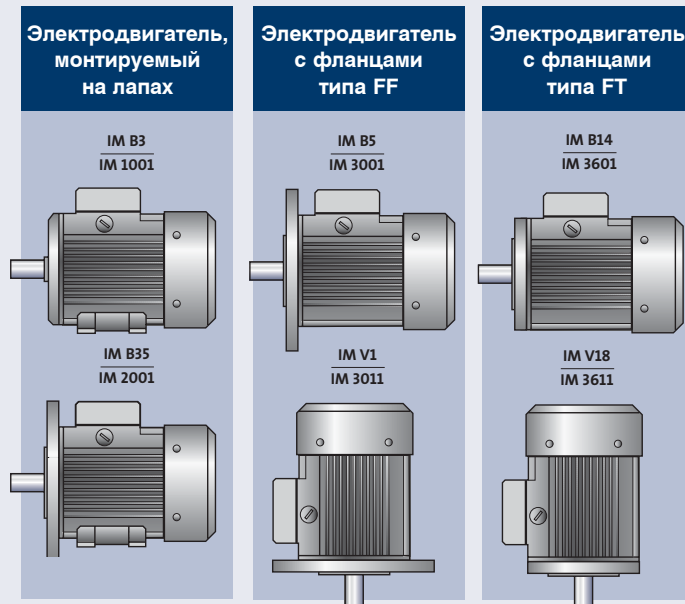


Рис.1.4.8: Способы монтажа электродвигателей

Первая цифра	Вторая цифра
Защита от попадания твердых частиц	Защита от влаги
0 защита отсутствует 1 электродвигатель защищен от проникновения объектов размером свыше 55 мм, например руки 2 электродвигатель защищен от проникновения объектов размером более 12 мм, например пальца 3 электродвигатель защищен от проникновения объектов размером более 2,5 мм, например проводов, инструментов и т. д. 4 электродвигатель защищен от проникновения объектов размером больше 1 мм, например песка 5 электродвигатель защищен от проникновения большого количества пыли 6 электродвигатель полностью защищен от пыли	0 защита отсутствует 1 электродвигатель защищен от вертикально падающих капель воды, например конденсата 2 электродвигатель защищен от капель воды, падающих вертикально и диагонально (под углом 15°) 3 электродвигатель защищен от водяных брызг, падающих под углом 60° по вертикали 4 электродвигатель защищен от большого количества водяных брызг 5 электродвигатель защищен от воды, сильных водяных струй 6 электродвигатель защищен от временного затопления (волны) 7 защита электродвигателя при погружении в воду на глубину от 15 см до 1м, на период, определенный производителем 8 защита электродвигателя при продолжительном погружении в воду, на время и глубину, определенные производителем

Рис.1.4.9: Класс защиты обозначается двумя буквами IP, за которыми следуют две цифры, например, IP55.

Типоразмер

На рис.1.4.12 представлена взаимосвязь между типоразмером двигателя, диаметром свободного конца вала, мощностью электродвигателя и типом и размером фланца. Для электродвигателей типоразмеров от 63 до 315M (включительно) эта взаимосвязь определяется стандартом EN50347. Для электродвигателей типоразмеров 315L и более не имеется стандартов, определяющих такие соотношения. На рисунке показаны размеры, обуславливающие типоразмер двигателя.

Фланцы и диаметр свободного конца вала определяются стандартами EN 50347 и IEC 60072-1. Некоторые насосы имеют муфту, для которой необходим гладкий конец вала или удлиненный вал, который не соответствует вышеуказанным стандартам.

Класс изоляции

Класс изоляции определен стандартом IEC 60085 и определяет степень устойчивости изоляционных материалов к определенным температурам. Срок эксплуатации каждого изоляционного материала зависит от температуры. Изоляционные материалы классифицируются по классам изоляции, в зависимости от их способности противостоять высоким температурам.

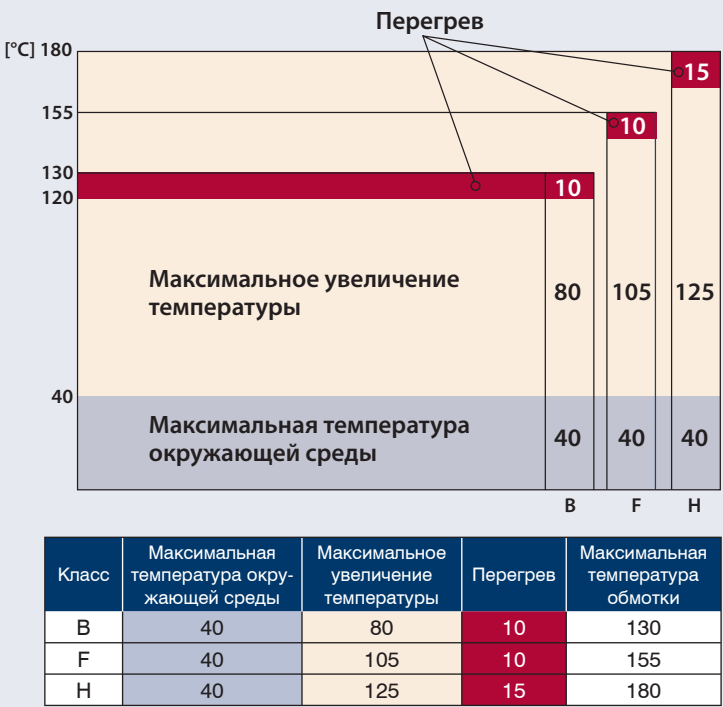
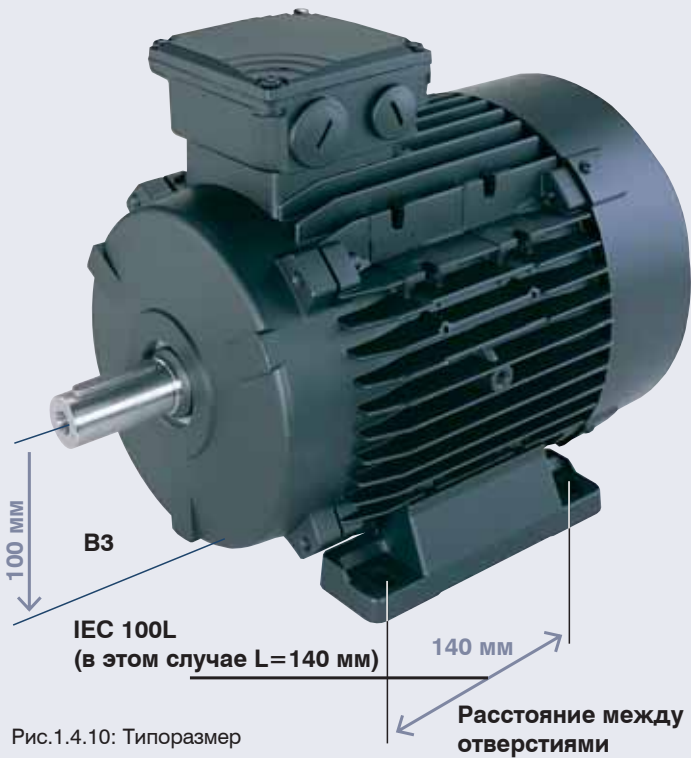


Рис.1.4.11: Разные классы изоляции и соответствующий им максимальный перегрев при номинальном напряжении сети и нагрузке



Рис.1.4.12: Взаимосвязь между типоразмером и входной мощностью электродвигателя

1	2		3				4	
Типо-размер	Диаметр конца вала		Номинальная мощность				Размер фланца	
	2900 мин ⁻¹	1450, 970, 720 мин ⁻¹	2900 мин ⁻¹	1450 мин ⁻¹	970 мин ⁻¹	720 мин ⁻¹	Фланец с отверстием	Фланец с резьбовым отверстием
	[мм]	[мм]	[кВт]	[кВт]	[кВт]	[кВт]	[FF]	[FT]
56	9	9	0,09; 0,12	0,06; 0,09			FF100	FT65
63	11	11	0,18; 0,25	0,12; 0,18			FF115	FT75
71	14	14	0,37; 0,55	0,25; 0,37			FF130	FT85
80	19	19	0,75; 1,1	0,55; 0,75	0,37; 0,55		FF165	FT100
90S	24	24	1,5	1,1	0,75	0,37	FF165	FT115
90L	24	24	2,2	1,5	1,1	0,55	FF165	FT115
100L	28	28	3	2,2; 3	1,5	0,75; 1,1	FF215	FT130
112M	28	28	4	4	2,2	1,5	FF215	FT130
132S	38	38	5,5; 7,5	5,5	3	2,2	FF265	FT165
132M	38	38	—	7,5	4; 5,5	3	FF265	FT165
160M	42	42	11; 15	11	7,5	4; 5,5	FF300	FT215
160L	42	42	18,5	15	11	7,5	FF300	FT215
180M	48	48	22	18,5	—	—	FF300	
180L	48	48	—	22	15	11	FF300	
200L	55	55	30; 37	30	18,5; 22	15	FF350	
225S	55	60	—	37	30	18,5	FF400	
225M	55	60	45	45	—	22	FF400	
250M	60	65	55	55	37	30	FF500	
280S	65	75	75	75	45	37	FF500	
280M	65	75	90	90	55	45	FF500	
315S	65	80	110	110	75	55	FF600	
315M	65	80	132	132	90	75	FF600	
315L	65	80	160; 200; 250				FF600	
355	75	100	315; 355; 400; 450; 500	315; 355; 400; 450; 500			FF740	
400	80	100	560; 630; 710	560; 630; 710			FF840	
450	90	120	800; 900; 1000	800; 900; 1000			FF940	

1.4.2. Пуск электродвигателя

Существуют следующие способы пуска электродвигателя: прямой пуск электродвигателя от сети; звезда/треугольник; через трансформатор; плавный пуск; через преобразователь частоты. Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки, показанные на рис.1.4.13.

Рис.1.4.13: Способы пуска электродвигателя

Способ пуска электродвигателя	Достоинства	Недостатки
Прямой пуск (DOL)	Простой и экономичный. Безопасный	Высокий ток при блокировке ротора
Звезда/треугольник (SD) (Y/Δ)	Снижение стартового тока в 3 раза	Скачки тока во время переключения со звезды на треугольник. Нельзя использовать при низкой инерционности системы. Низкий вращающий момент при блокировке ротора.
Пуск электродвигателя через автотрансформатор	Уменьшение тока и крутящего момента при блокировке ротора	Скачки тока при переключении с минимального напряжения до максимального. Низкий вращающий момент при блокировке ротора.
Плавный пуск	Нет скачков тока. Меньший гидравлический удар при пуске насоса. Снижение тока при блокировке ротора, обычно в 2–3 раза.	Низкий вращающий момент при блокировке ротора.
Пуск через преобразователь частоты	Нет скачков тока. Меньший гидравлический удар при запуске насоса. Снижение тока при блокировке ротора, обычно в 2–3 раза. Может быть применен при непрерывной работе электродвигателя.	Низкий вращающий момент при блокировке ротора. Высокая стоимость.

Прямой пуск электродвигателя от сети (DOL)

Как видно из названия, прямой пуск электродвигателя от сети означает, что он пускается путем прямого подключения к электросети. Такой пуск приемлем при стабильном напряжении электросети, механически прочной и правильно подобранной системе валов насосов.

Пуск электродвигателя способом «звезда/треугольник» (SD) (Y/Δ)

Этот способ применяется для трехфазных асинхронных электродвигателей для снижения пускового тока. При таком способе пуска источник тока подсоединен к обмоткам статора методом «звезда» (Y). Как только электродвигатель набирает скорость, источник тока переключается на «треугольник» (Δ).

Пуск электродвигателя через трансформатор

Как видно из названия, в этом случае применяется трансформатор. Трансформатор подключается к электродвигателю последовательно и во время пуска увеличивает напряжение до номинального в 2 или 4 приема.

Плавный пуск

Устройство плавного пуска гарантирует плавный пуск электродвигателя, который производится путем повышения напряжения питания до некоторого заранее установленного значения.

Пуск через преобразователь частоты

Преобразователи частоты служат для питания электродвигателя, но могут быть использованы также для плавного пуска.



1.4.3. Подключение к электросети

Номинальное напряжение электродвигателя находится в определенном диапазоне. На рис.1.4.14 показаны типичные варианты напряжения электродвигателей при частоте тока 50 Гц.

В соответствии с международным стандартом IEC 60038, электродвигатель должен работать при допустимом отклонении напряжения $\pm 10\%$.

Для электродвигателей, разработанных в соответствии со стандартом IEC 60034-1 для работы в широком диапазоне напряжения, например 380–415 В, основное напряжение может иметь допустимое отклонение $\pm 5\%$.

Допустимая максимальная температура для фактического класса изоляции не превышает при работе электродвигателя внутри диапазона номинального напряжения. При работе двигателя на границе допустимого диапазона напряжений, температура обычно возрастает приблизительно на 10° .

1.4.4. Преобразователь частоты

Преобразователь частоты очень часто применяется для регулирования скорости насосов, см. главу 4. Он преобразует напряжение сети в другое напряжение, с другой частотой, для работы электродвигателя с разными скоростями вращения ротора. Такой способ регулирования частоты может приводить к некоторым проблемам:

- Акустический шум электродвигателя, который иногда передается в систему.
- Скачки напряжения на выходе преобразователя частоты.

Виды напряжения питания 50 Гц

Электродвигатели с частотой тока 50 Гц работают при следующих напряжениях:

- 3 x 220–240 Δ / 380–415 Y
- 3 x 220–240 Δ / 346–380 Y
- 3 x 220 Δ / 346 Y
- 3 x 380–415 Y
- 1 x 220–230 / 240

Рис.1.4.14: Виды напряжения питания

Напряжения электросети в соответствии со стандартом IEC 60038

- 50 Гц
- 230 В $\pm 10\%$
- 400 В $\pm 10\%$
- 690 В $\pm 10\%$

Рис.1.4.15: Напряжения электросети в соответствии со стандартом IEC 60038

Изоляция электродвигателей с преобразователем частоты

Электродвигатели с преобразователем частоты различаются по типу изоляции.

Электродвигатели без фазовой изоляции

Для электродвигателей без фазовой изоляции продолжительное действие напряжения (RMS) свыше 460 В увеличивает риск электрического пробоя обмоток и, следовательно, поломку самого электродвигателя. Это относится ко всем двигателям без фазовой изоляции. Продолжительная работа электродвигателя при напряжении свыше 650 В приводит к повреждению электродвигателя.

Электродвигатели с фазовой изоляцией

В трехфазных электродвигателях обычно используется фазовая изоляция, и поэтому нет необходимости в дополнительной защите, если напряжение питания не превышает 500 В.

Электродвигатели с армированной изоляцией

Если напряжение питания лежит в диапазоне от 500 В до 690 В, электродвигатели должны быть оснащены армированной изоляцией или защищены дельта U/дельта t фильтрами. При напряжении питания 690 В и выше электродвигатели должны быть оснащены как армированной изоляцией, так и дельта U/дельта t фильтрами.

Электродвигатели с изолированными подшипниками

При использовании частотного преобразователя для предотвращения вредного воздействия паразитных токов на подшипники электродвигателя, необходимо применять изолированные подшипники. Такая изоляция применяется для электродвигателей типоразмеров 280 и выше.

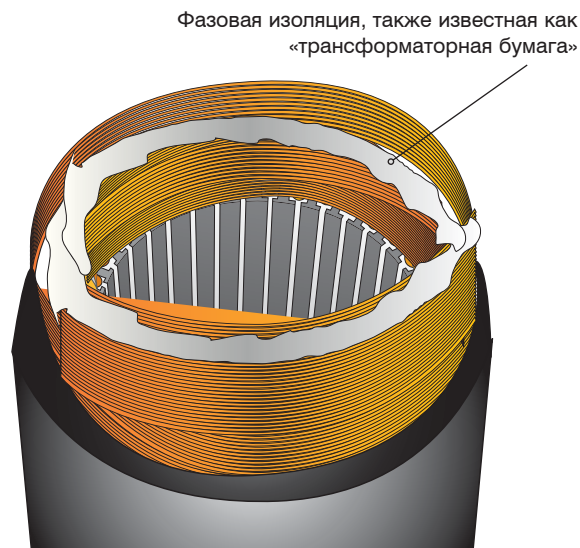


Рис.1.4.16: Статор с фазовой изоляцией



КПД электродвигателя

Как известно, электродвигатели обладают довольно высоким КПД. Некоторые из них имеют КПД 80–93%, в зависимости от мощности, а иногда, для более мощных электродвигателей, даже выше. Существует два типа энергетических потерь в электродвигателях: потери, обусловленные нагрузкой, и потери, не обусловленные нагрузкой.

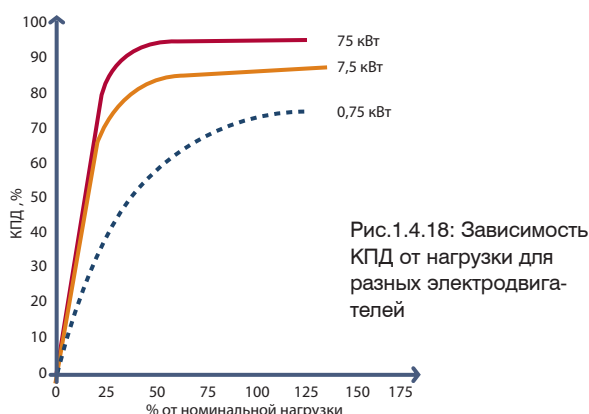
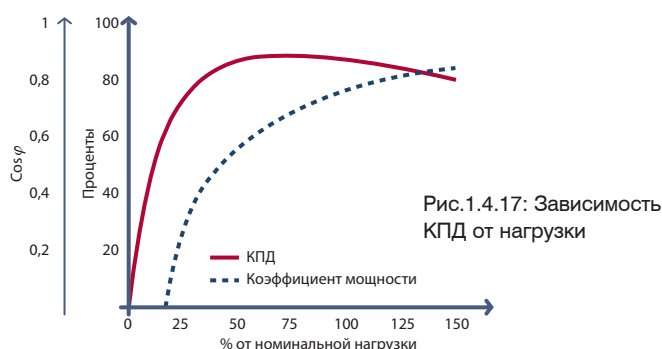
Потери, обусловленные нагрузкой, меняются соответственно квадрату тока и включают в себя:

- потери на обмотке статора (copper losses)
- потери ротора (slip losses)
- потери на различных частях электродвигателя (рассеянные)

Потери, не обусловленные нагрузкой, включают в себя:

- потери в сердечнике
- механические потери (на трение)

Различные виды классификации электродвигателей распределяют их по КПД. СЕМЕР является наиболее важной классификацией для европейских стран (EFF1, EFF2 и EFF3), а для США — EPAct.



Электродвигатели могут выйти из строя из-за перегрузки, действующей в течение длительного времени, поэтому большинство из них переразмерены и работают на 75–80% от их номинальной мощности. При таком уровне нагрузки КПД и коэффициент мощности остаются относительно высокими. Но при нагрузке электродвигателя ниже 25%, КПД и коэффициент мощности снижаются.

КПД электродвигателя быстро падает при снижении нагрузки ниже определенного уровня. Поэтому очень важно определять мощность электродвигателя таким образом, чтобы минимизировать потери. Обычно электродвигатель подбирают соответственно потребной для данного насоса мощности.

1.4.5. Защита электродвигателя

Электродвигатели обычно защищены от высоких температур, которые могут привести к повреждению системы изоляции. В зависимости от конструкции двигателя и области его применения, термическая защита может также обладать другими функциями, такими как защита от перегрева преобразователя частоты, если тот установлен непосредственно на электродвигателе.

Тип термической защиты зависит от типа электродвигателя. При выборе термической защиты нужно обратить внимание на конструкцию двигателя и его потребляемую мощность.

Факторы, влияющие на медленное повышение температуры в обмотках двигателя:

- Медленная перегрузка
- Продолжительное время пуска
- Недостаточное охлаждение или его отсутствие
- Высокая температура окружающей среды
- Частые пуски/остановы
- Частотные колебания
- Колебания напряжения

Факторы, влияющие на быстрое повышение температуры в обмотках:

- Блокировка ротора
- Обрыв фаз

Термическая защита (ТР)

В соответствии со стандартом IEC 60034-11, уровень термической защиты электродвигателя должен быть отображен на его фирменной табличке специальным обозначением ТР. На рис.1.4.19 показаны обозначения термической защиты.

Обозначение	Техническая перегрузка и ее варианты (1-я цифра)	Количество уровней и функциональная область (2-я цифра)	Категория 1 (3-я цифра)
ТР 111	Только медленно (постоянная перегрузка)	1 уровень при отключении	1
ТР 112			2
ТР 121		2 уровня при аварийном сигнале и отключении	1
ТР 122	Медленно и быстро (постоянная перегрузка, блокировка)		2
ТР 211		1 уровень при отключении	1
ТР 212			2
ТР 221		2 уровня при аварийном сигнале и отключении	1
ТР 222			2
ТР 311	Только быстро (блокировка)	1 уровень при отключении	1
ТР 321			2

Значение допустимого температурного уровня при воздействии на электродвигатель высокой температуры. Категория 2 допускает более высокие температуры, чем категория 1.

Рис.1.4.19: Обозначения термической защиты.

РТС терморезисторы

РТС терморезисторы (терморезисторы с положительным температурным коэффициентом) могут быть установлены в обмотках электродвигателя производителем или при монтаже. Обычно двигатель оснащается тремя РТС терморезисторами, по одному на каждой обмотке. Они могут быть оснащены расцепителем для диапазона температур от 90°C до 180°C с 5 положениями. Терморезисторы должны быть соединены с термореле, которое размыкается при резком увеличении электрического сопротивления в терморезисторе, когда температура достигает уровня размыкания. Эти устройства нелинейные. Сопротивление терморезистора при обычной температуре окружающей среды составляет 200–300 Ом, но когда его температура достигает уровня размыкания, сопротивление резко возрастает, и при дальнейшем ее увеличении достигает нескольких тысяч Ом. Обычно реле терморезистора устанавливается на размыкания при сопротивлении 3000 Ом, или это значение определяется стандартом DIN 44082. При установке терморезисторов в обмотках электродвигателей мощностью ниже 11 кВт, они будут обозначаться как ТР 211. При установке во время монтажа двигателя обозначение будет ТР 111. Обозначение для двигателей мощностью свыше 11 кВт— ТР 111.

Термовыключатели и термостаты

Термовыключатели — это небольшие биметаллические выключатели, размыкающие сеть при повышенной температуре. Они могут работать в широком диапазоне температур; бывают нормально открытого и нормально закрытого типа. Наиболее распространен закрытый тип выключателей. Термовыключатели и термостаты подключаются к обмоткам электродвигателя, как и терморезисторы, — обычно один или два, последовательно, и могут быть напрямую подключены к контуру катушки главного контактора. В этом случае нет необходимости в реле. Такой тип защиты дешевле, чем с применением терморезисторов, но, с другой стороны, он менее чувствителен и не способен выявить повреждение ротора.

К термовыключателям также относятся Thermik, Klixon и PTO (Protection Thermique a Ouverture). Они всегда имеют обозначение ТР 111.

Однофазные электродвигатели

Однофазные электродвигатели обычно производятся со встроенной термозащитой: остыв, электродвигатель автоматически включается (повторное автоматическое включение). Это означает, что электродвигатели должны быть подключены к сети переменного тока способом, исключающим поломку двигателя при автоматическом перезапуске.

Трехфазные электродвигатели

Защита трехфазных электродвигателей должна осуществляться в соответствии с местными требованиями. Этот тип электродвигателей обычно имеет встроенные контакты для подключения необходимой защиты.



Подогрев в режиме ожидания

Нагревательный элемент служит для подогрева электродвигателя, находящегося в режиме ожидания. Он применяется в случаях, когда необходимо бороться с влажностью и конденсатом. При использовании подогрева в режиме ожидания температура в электродвигателе становится выше температуры окружающей среды, и, таким образом, относительная влажность воздуха внутри электродвигателя всегда ниже 100%.

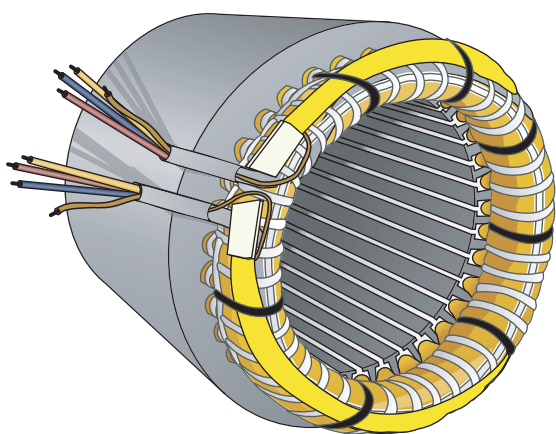


Рис.1.4.20: Статор с нагревательным элементом.

Техническое обслуживание

Необходимо регулярно проверять техническое состояние электродвигателя. Очень важно содержать его в чистоте, чтобы обеспечивать достаточное охлаждение. Если насос установлен в пыльном месте, он должен регулярно проверяться и очищаться.

Подшипники

Обычно электродвигатели оснащаются закрытыми подшипниками со стороны свободного конца вала и подшипниками с осевым зазором на неприводной стороне. Осевой зазор необходим для соблюдения допустимых отклонений, возникающих из-за теплового расширения во время работы и т. д. На неприводной стороне подшипники электродвигателя удерживаются подпружиненной шайбой, см. рис.1.4.21.

Неподвижная опора со стороны свободного конца вала может обеспечиваться либо подшипниками с глубокими дорожками качения, либо упорными подшипниками качения с коническими опорами.

Допуски и отклонения подшипников утверждены стандартами ISO 15 и ISO 492. Так как все производители должны соблюдать требования этих стандартов, подшипники являются взаимозаменяемыми стандартными деталями.

Для обеспечения свободного вращения шарикоподшипник должен иметь определенный внутренний зазор между дорожкой и шариками. Без этого внутреннего зазора подшипники либо с трудом вращаются, либо заклинивают и не вращаются вовсе. С другой стороны, очень большой внутренний зазор может привести к неустойчивой работе подшипника, который будет создавать сильный шум или биение вала.

В зависимости от того, с каким типом насоса будет работать электродвигатель, подшипники с глубокими дорожками качения со стороны свободного конца вала должны иметь зазор С3 или С4. Подшипники с зазором С4 являются менее чувствительными к повышению температуры и имеют довольно высокую допустимую осевую нагрузку.

Подшипники, несущие осевые нагрузки насоса, могут иметь зазор С3, если насос:

- Оснащен полностью или частично разгруженным рабочим колесом
- Работает в повторно-кратковременном режиме
- Долгое время работает на холостом ходу.

Подшипники с зазором С4 применяются в насосах с пульсирующими осевыми силами. Упорные подшипники качения с коническими опорами применяются, если насос создает мощные односторонние осевые силы.

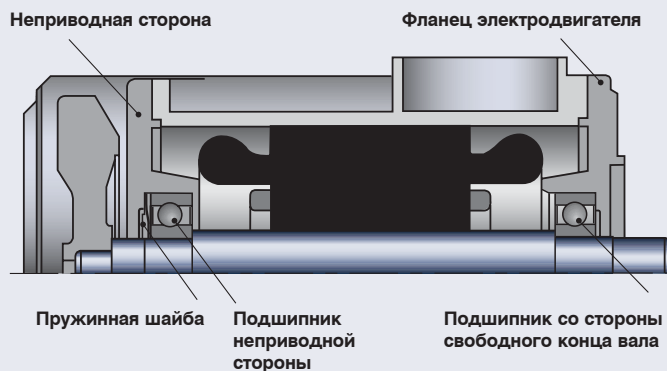


Рис.1.4.21: Поперечный разрез электродвигателя

Раздел 1.4

Электродвигатели

Осевые силы	Типы подшипников и рекомендуемые зазоры	
	Сторона свободного конца вала	Неприводная сторона
От умеренных до больших. Главным образом действуют на свободный конец вала	Подшипники с глубокими дорожками качения (С4)	Подшипники с глубокими дорожками качения (С3)
Большая осевая сила, направленная наружу	Упорные подшипники качения с коническими опорами	Подшипники с глубокими дорожками качения (С3)
Умеренные силы. Главным образом, направленная наружу (частично разгруженное рабочее колесо)	Упорные подшипники с глубокими дорожками качения (С3)	Подшипники с глубокими дорожками качения (С3)
Небольшие силы (упругая муфта)	Упорные подшипники с глубокими дорожками качения (С3)	Подшипники с глубокими дорожками качения (С3)
Сильное давление, направленное внутрь	Подшипники с глубокими дорожками качения (С4)	Упорные подшипники качения с коническими опорами

Рис.1.4.22: Типичные виды подшипников, используемые для электродвигателей насосов.

Электродвигатели с постоянно смазываемыми подшипниками

Для закрытых, постоянно смазываемых подшипников используется один из следующих типов густой смазки, способной выдерживать высокие температуры:

- Литиевая консистентная смазка.
- Полиметаллическая (Ур) консистентная смазка.

Технические характеристики должны соответствовать стандарту DIN-51825 K2. Вязкость смазки должна превышать:

- 50 сСт (10-6м²/сек) при 40°C и
- 8 сСт (мм²/сек) при 100°C

Например, Kluberquiet BQH 72-102 с соотношением наполнения смазкой 30–40%.

Электродвигатели с системой смазки

Обычно электродвигатели типоразмера 160 и выше имеют смазывающие ниппели для подшипников, как со стороны свободного конца вала, так и с неприводной стороны.

Смазывающие ниппели должны быть легко доступны. Электродвигатели сконструированы таким образом, что:

- существует поток смазывающего вещества вокруг подшипника
- новая порция смазки поступает в подшипник
- старая смазка удаляется из подшипника

Электродвигатели с системами смазки поставляются с инструкциями по смазке, например, в виде таблички на крышке вентилятора. Кроме того, такая инструкция присутствует в руководстве по монтажу и эксплуатации.

Очень часто применяется высокотемпературная литиевая консистентная смазка, например EXXON UNIREX N3 или Shell Alvania Grease G3. При этом вязкость должна быть:

- более 50 сСт (10–6м²/сек) при 40°C и
- 8 сСт (мм²/сек) при 100°C

Раздел 1.5. Жидкости

- 1.5.1. Вязкие жидкости
- 1.5.2. Неньютоновские жидкости
- 1.5.3. Влияние вязкости жидкости
на характеристики центробежного насоса
- 1.5.4. Выбор насоса для жидкости
с антифризными присадками
- 1.5.5. Пример расчета
- 1.5.6. Компьютерный подбор насоса
для перекачивания плотных и вязких
жидкостей



1.5.1. Вязкие жидкости

Вода является наиболее распространенной жидкостью, перекачиваемой насосами. Однако насосы используются во многих отраслях, где необходимо перекачивать и другие жидкости, такие как минеральные масла, пропилен гликоль, бензин и т. д. Эти жидкости имеют отличную от воды плотность и вязкость.

Вязкость — это величина, отражающая густоту жидкости.

Чем выше вязкость, тем гуще жидкость. Пропилен гликоль и моторное масло являются примерами густой и высоковязкой жидкости. Бензин и вода — это примеры легкоподвижной жидкости с низкой вязкостью.

Существует два типа вязкости:

- Динамическая вязкость (μ), которая обычно измеряется в мПа·с или Poise. (1 Poise=0,1 мПа·с)
- Кинематическая вязкость (ν), которая обычно измеряется в сантистоксах или м²/с (1 сСт = 10⁻⁶ м²/сек)

Связь между динамической вязкостью (μ) и кинематической вязкостью (ν) определяется по формуле:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$
, где ρ — плотность (удельный вес) жидкости

Далее мы будем акцентировать Ваше внимание на кинематической вязкости (ν).

Вязкость жидкости значительно изменяется при изменениях температуры: горячее масло жиже, чем холодное. Как видно из рис.1.5.1, вязкость пропилена гликоля увеличивается в 10 раз при увеличении температуры от -20°C до +20°C.

Более подробную информацию о вязкости жидкости можно получить из приложения L.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

ρ = плотность (удельный вес) жидкости

Жидкость	Температура жидкости t (°C)	Плотность (кг/м³)	Кинематическая вязкость ν (сСт)
Вода	20	998	1,004
Бензин	20	733	0,85
Оливковое масло	20	900	93
50% пропилен гликоль	20	1043	6,4
50% пропилен гликоль	-20	1061	68,7

Рис.1.5.1: Сравнение значений вязкостей воды и других жидкостей. Также представлены плотности и температуры.



1.5.2. Неньютоновские жидкости

Жидкости, рассмотренные ранее, относятся к так называемым ньютоновским жидкостям. Вязкость ньютоновских жидкостей не зависит от того, находятся они в движении или в покое. Минеральное масло и вода являются типичными представителями таких жидкостей. С другой стороны, вязкость неньютоновских жидкостей изменяется при встряске или взбалтывании.

Несколько примеров:

- Расширяющиеся жидкости, типа крема — вязкость увеличивается при взбалтывании.
- Пластические жидкости, типа кетчупа — имеют динамическое сопротивление сдвигу, которое должно быть превышено для начала движения. Вязкость снижается при встряхивании.
- Тиксотропные жидкости типа красок — вязкость уменьшается при усиленном взбалтывании или перемешивании.

Вязкопластичные жидкости не могут быть описаны зависимостью по приведенной ранее формуле вязкостей для обычных ньютоновских жидкостей.

1.5.3. Влияние вязкости жидкости на характеристики центробежного насоса

Перекачивание вязких жидкостей, имеющих более высокое значение вязкости и/или плотности, чем вода, сказывается на рабочих характеристиках центробежного насоса по-разному:

- Увеличивается потребляемая мощность для обеспечения тех же параметров HQ , что и для работы с водой, т.е. необходим более мощный электродвигатель
- Напор, расход и КПД насоса снижаются

Рассмотрим пример. Насос используется для перекачивания жидкости в системе охлаждения, температура перекачиваемой жидкости ниже 0°C . Во избежание размораживания системы, в воду был добавлен антифриз типа пропилен гликоля. При добавлении антифриза, подобного гликолю, в перекачиваемую

жидкость, она приобретает свойства, абсолютно отличные от воды. Жидкость будет иметь:

- Более низкую температуру замерзания, $t_z (^{\circ}\text{C})$
- Более низкую удельную теплоемкость, $c_p (\text{кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C})$
- Более высокую теплопроводность, $\lambda (\text{Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C})$
- Более высокую температуру кипения, $t_k (^{\circ}\text{C})$
- Более высокий коэффициент расширения, $\beta (\text{м}/^{\circ}\text{C})$
- Более высокую плотность, $\rho (\text{кг/м}^3)$
- Более высокую кинематическую вязкость, $\nu (\text{сСт})$

Эти свойства должны быть приняты во внимание при проектировании системы и подборе насосов. Как было упомянуто ранее, для жидкостей с более высокой плотностью необходим электродвигатель более высокой мощности. Так как более высокая вязкость ведет к снижению напора, расхода и КПД насоса, это приведет к увеличению потребляемой мощности, см. рис.1.5.2.

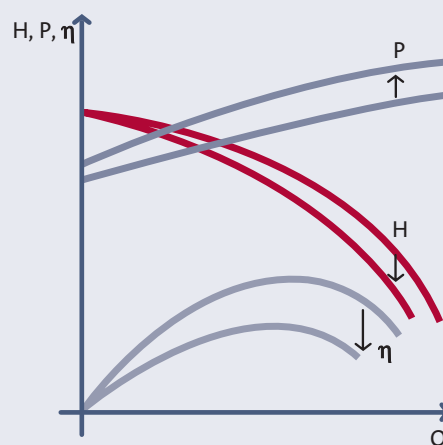


Рис.1.5.2: Изменения напора, КПД и потребляемой мощности для жидкостей с более высокой вязкостью.

1.5.4. Выбор насоса для жидкости с антифризными присадками

Рабочие характеристики обычно описывают работу насоса при перекачивании воды с температурой около 20°C, т. е. когда кинематическая вязкость примерно равна 1 сСт и плотность — 1000 кг/м³.

При использовании насоса для перекачивания жидкости, содержащей антифриз, с температурой ниже 0°C, необходимо удостовериться, сможет ли насос обеспечить необходимые рабочие параметры или нужен более мощный электродвигатель. Далее приведен упрощенный метод, используемый для корректировки характеристик насосов и систем, работающих с жидкостями с вязкостью от 5 до 100 сСт и максимальной плотностью 1300 кг/м³. Этот метод менее точен, чем метод автоматизированного подбора насоса для вязких и плотных жидкостей, который будет описан позднее.

Корректировки характеристик для насосов, перекачивающих высоковязкие жидкости

Зная рабочую точку (Q_s , H_s) и кинематическую вязкость перекачиваемой жидкости, можно определить поправочный коэффициент для напора H и мощности P_2 , см. рис.1.5.3.

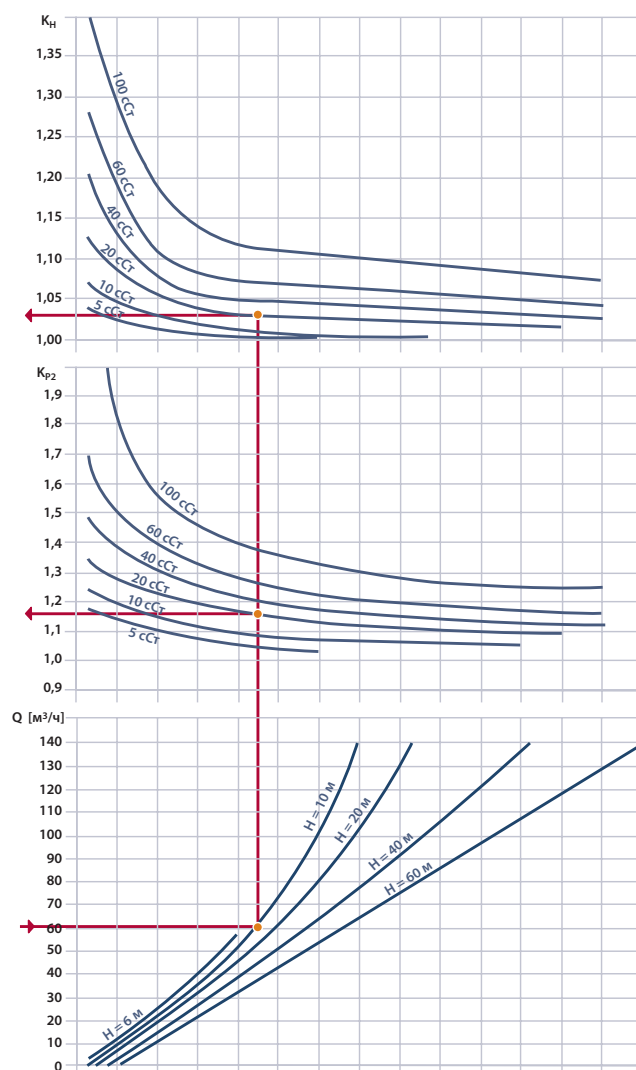


Рис.1.5.3: Определение поправочного коэффициента для напора и потребляемой мощности при различных значениях расхода, напора и вязкости.

Определив по графикам, представленным на рис.1.5.3, значения k_H и k_{P2} , мы можем найти эквивалентный напор для чистой воды H_w и скорректированную мощность вала P_{2S} по следующей формуле:

$$H_w = k_H \cdot H_s$$

$$P_{2S} = k_{P2} \cdot P_{2w} \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} \right)$$

где

H_w — эквивалентный напор насоса, если перекачиваемой жидкостью является вода без присадок;

P_{2w} — мощность на валу в рабочей точке (Q_S , H_w) при перекачивании воды;

H_s — необходимый напор перекачиваемой жидкости (с присадками);

P_{2S} — мощность на валу в рабочей точке (Q_S , H_s) при перекачивании воды (с присадками);

ρ_s — плотность перекачиваемой жидкости;

ρ_w — плотность воды = 998 кг/м³;

Подбор насоса основывается на технических данных и характеристиках, представленных для воды. Насос должен удовлетворять характеристике $Q, H = Q_S, H_w$ и электродвигатель должен иметь мощность, достаточную для обеспечения мощности на валу насоса P_{2S} .

На рис.1.5.4 показана последовательность подбора насоса и проверки электродвигателя по потребной мощности.

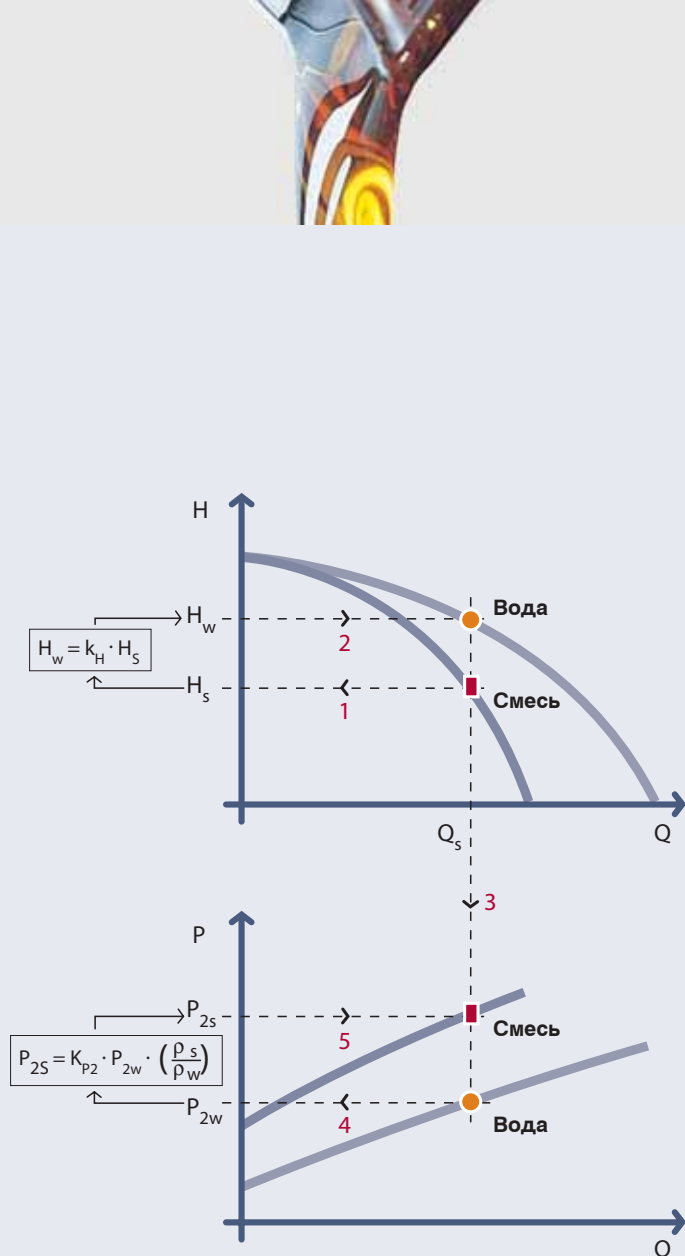


Рис.1.5.4: Корректировка характеристик при выборе насоса для системы.

Процедура подбора насоса и электродвигателя:

- Расчет нового значения напора H_w (через H_s и k_H), см. рис.1.5.4 **1-2**;
- Подберите насос с рабочими параметрами, соответствующими новой рабочей характеристике (Q_S , H_w);
- Определите значение входной мощности P_{2w} в рабочей точке (Q_S , H_w), см. рис.1.5.4 **3-4**;
- Исходя из значений P_{2w} , k_{P2} , ρ_w и ρ_s рассчитайте по формуле необходимую мощность на валу P_{2S} , см. рис. 1.5.4 **4-5**;
- Если $P_{2S} < P_{2MAX}$ электродвигателя, то такой двигатель может быть использован. В противном случае необходимо подобрать более мощный электродвигатель.

1.5.5. Пример расчета

Циркуляционный насос в системе охлаждения перекачивает жидкость с содержанием 40% пропилен гликоля при температуре -10°C . При этом требуемый расход $Q_s = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$ и требуемый напор $H_s = 12 \text{ м}$. Зная требуемую рабочую точку, можно найти QH-характеристику для воды и подобрать насос для заданных параметров. После того как мы выбрали насос, нужно проверить, обеспечивает ли электродвигатель требуемую мощность на валу насоса.

Жидкость имеет кинематическую вязкость 20 cSt и плотность 1049 кг/м^3 . Для $Q_s = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H_s = 12 \text{ м}$ и $\nu = 20 \text{ cSt}$ поправочные коэффициенты могут быть найдены из графиков рис.1.5.3.

$$\begin{aligned} k_H &= 1,03 \\ k_{P_2} &= 1,15 \\ H_w &= k_H \cdot H_s = 1,03 \cdot 12 = 12,4 \text{ м} \\ Q_s &= 60 \text{ м}^3/\text{ч} \end{aligned}$$

Насос должен удовлетворять рабочим значениям Q , H равным соответственно $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $12,4 \text{ м}$. Определив насос, мы узнаем значение мощности P_2 для рабочей точки, которое в данном случае равно $P_{2w} = 2,9 \text{ кВт}$. Теперь можно рассчитать требуемую мощность электродвигателя для этой концентрации пропилен гликоля:

$$\begin{aligned} P_{2s} &= k_{P_2} \cdot P_{2w} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w} \\ P_{2s} &= 1,15 \cdot 2,9 \cdot \frac{1049}{998} = 3,5 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Из расчета видно, что насос должен быть оснащен двигателем мощностью 4 кВт , обеспечивающим рассчитанную мощность $P_{2s} = 3,5 \text{ кВт}$.

1.5.6. Компьютерный подбор насоса для перекачивания плотных и вязких жидкостей

Некоторые программы компьютерного подбора насоса включают в себя функцию пересчета рабочих характеристик, исходя из заданных показателей плотности и вязкости перекачиваемой жидкости. На рис.1.5.5 представлены характеристики насоса по примеру, рассмотренному ранее.

На рисунке показана характеристика насоса для перекачивания вязкой жидкости (сплошная линия) и характеристика для перекачивания воды (прерывистая линия). Так как указанные напор, расход и КПД снижены, следствием этого является увеличение потребляемой мощности.

Значение P_2 равно $3,4 \text{ кВт}$, которое соответствует рассчитанному ранее в примере раздела 1.5.4.

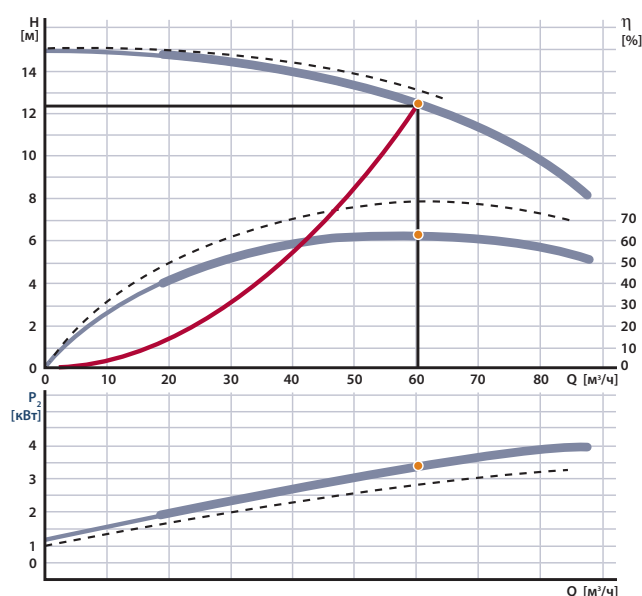


Рис.1.5.5: Характеристики насоса

Раздел 1.6. Материалы

- 1.6.1. Что такое коррозия?
- 1.6.2. Типы коррозии
- 1.6.3. Металлы и металлические сплавы
- 1.6.4. Керамика
- 1.6.5. Пластмассы
- 1.6.6. Резина
- 1.6.7. Защитные покрытия



В этом разделе Вы найдете информацию о различных материалах, используемых при конструировании насосов. Основное внимание мы будем уделять свойствам, которые присущи каждому отдельному металлу и металлическому сплаву. Но прежде чем погрузиться в мир материалов, мы поближе познакомимся с понятием коррозии. Мы рассмотрим коррозию и различные ее типы, а также расскажем, как можно избежать ее появления.

1.6.1. Что такое коррозия?

Коррозия — это разрушение металла под действием химической или электрохимической реакции с окружающей средой, см. рис.1.6.1. Более широко коррозию можно представить, как тенденцию металла вернуться к своему естественному состоянию, то есть оксиду, из которого он был получен. Только драгоценные металлы, такие как золото и платина, существуют в природе в их естественном металлическом состоянии.

Некоторые металлы образуют на поверхности плотный защитный оксидный слой, который препятствует коррозии. При повреждении этого слоя он образуется вновь. Такие металлы называются пассивированными. Под воздействием атмосферного воздуха на такие металлы, как цинк и алюминий, они образуют достаточно плотный оксидный слой, препятствующий коррозии.

Точно так же на поверхности нержавеющей стали формируется плотный слой оксидов железа и хрома, а на поверхности титана образуется слой оксида титана. Этот защитный слой обеспечивает их хорошую коррозионную стойкость. Но продукт коррозии стали — ржавчина — не является для нее защитным слоем.

Ржавчина по своей структуре пористая, не обладает связывающими свойствами и не препятствует дальнейшей коррозии, см. рис.1.6.2.

Факторы, влияющие на образование коррозии металлов и сплавов
Уровень Ph (кислотность)
Температура
Концентрация коррозионно-активных элементов в растворе (таких, как хлориды)
Биологическая активность
Рабочие условия (такие, как скорость, наличие или отсутствие промывки и остановки)

Рис.1.6.1: Факторы, влияющие на образование коррозии металлов и сплавов.

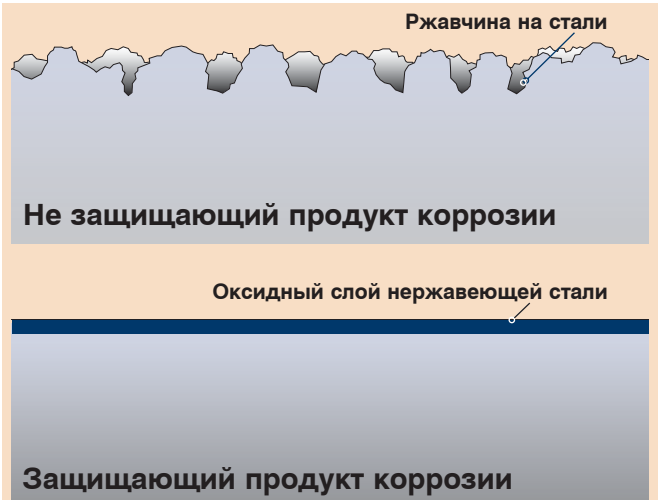


Рис.1.6.2: Примеры продуктов коррозии.

1.6.2. Типы коррозии

Коррозия приводит к потере металла на участках поверхности, подверженных ее влиянию. Процесс коррозии выражается во многих формах — от равномерной коррозии по всей поверхности до очень глубокой точечной коррозии.

Химическое и физическое состояние окружающей среды определяют как тип коррозии, так и степень ее воздействия. От окружающей среды также зависит и вид продукта коррозии, поэтому необходимо производить контрольные измерения состояния окружающей среды. Во многих случаях полностью остановить процесс коррозии практически невозможно или очень дорого; но, несмотря на это, можно контролировать его до определенных допустимых значений.

Далее мы будем рассматривать различные формы коррозии с целью выявления их основных особенностей.

Равномерная коррозия

Равномерная, или общая, коррозия распространяется равномерно по всей поверхности или на большей ее части. Под этим воздействием металл становится тоньше, а затем совсем разрушается. При равномерной коррозии происходят большие потери металла.

Примеры металлов, которые являются объектами равномерной коррозии:

- Сталь в газированной воде
- Нержавеющая сталь в кислотах (например, сталь 1.4301 (AISI 304) в серной кислоте)

Точечная коррозия

Точечная коррозия отличается локальной формой воздействия. Она формирует углубления на металлической поверхности. При этом в металле образуются отверстия, в то время как потери его общего веса совсем незначительные. Глубина разрушения может быть в 10–100 раз больше, чем при равномерной коррозии, в зависимости от агрессивности жидкости. Точечная коррозия часто появляется под влиянием застойного состояния окружающей среды.

Пример металла, являющегося объектом точечной коррозии:

- Нержавеющая сталь в морской воде

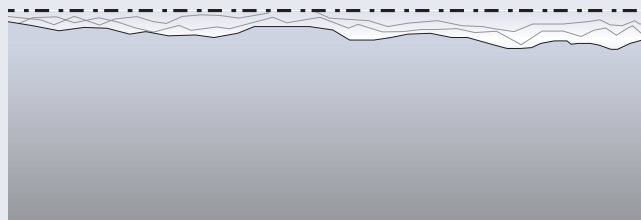


Рис.1.6.3: Равномерная коррозия

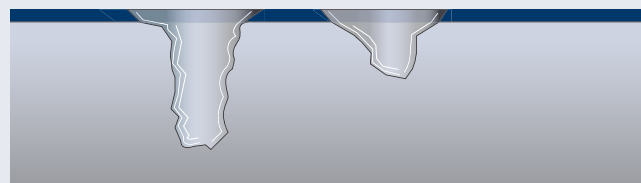


Рис.1.6.4: Точечная коррозия

Щелевая коррозия

Щелевая коррозия, как и точечная, является локальной формой коррозионного воздействия. Несмотря на это, щелевая коррозия возникает намного чаще, чем точечная. Эта коррозия обычно появляется в очень узких зазорах, или в пространствах между двумя металлическими поверхностями, или между металлическими и неметаллическими поверхностями, и обычно является следствием застоя в этих местах перекачиваемой жидкости. Наиболее уязвимы для коррозии щели и зазоры, находящиеся во фланцевых и резьбовых соединениях.

Пример металла, являющегося объектом щелевой коррозии:

- Нержавеющая сталь в морской воде

Межкристаллитная коррозия

Как видно из названия, межкристаллитная коррозия появляется на границе кристаллов. Обычно такой тип коррозии появляется при образовании карбида хрома в кристаллической решетке (при сварке или в связи с недостаточной закалкой стали). При этом происходит резкое снижение содержания хрома в узком межкристаллическом пространстве, что приводит к уменьшению сопротивляемости материала действию коррозии на этом участке. Это является очень неблагоприятным моментом, так как хром играет очень важную роль в обеспечении коррозионной стойкости металла.

Примеры металлов, являющихся объектами межкристаллитной коррозии:

- Нержавеющая сталь, недостаточно закаленная при обработке или некачественной сварке
- Нержавеющая сталь 1.4401 (AISI 316), находящаяся в азотной кислоте

Избирательная коррозия

Избирательная коррозия — это такой вид коррозии, который воздействует только на отдельный элемент сплава и производит разрушение в самой структуре сплава. Таким образом, происходит ослабление структуры материала в целом.

Примеры избирательной коррозии:

- Вымывание цинка из нестабилизированной латуни, вследствие чего структура сплава становится пористой.
- Графитизация серого чугуна, вследствие чего, в связи с распадом железа, происходит разрушение хрупкой графитной решетки.

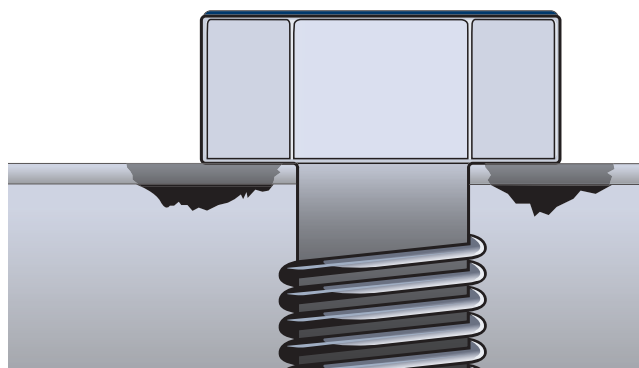


Рис.1.6.5: Щелевая коррозия

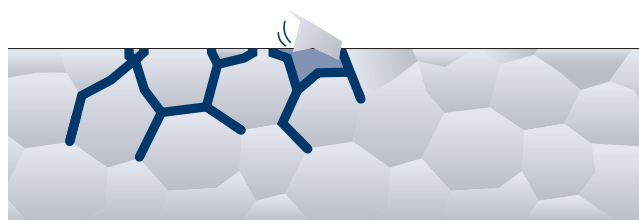


Рис.1.6.6: Межкристаллитная коррозия

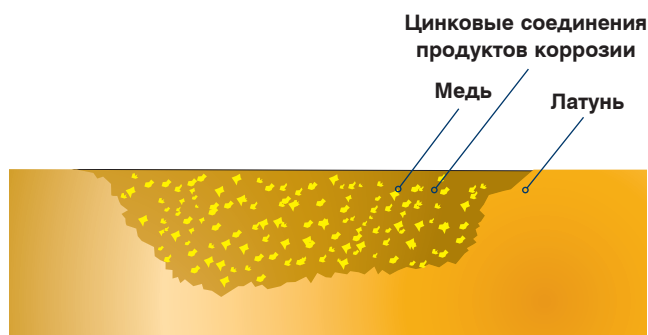


Рис. 1.6.7: Избирательная коррозия

Эрозионная коррозия

Эрозионная коррозия — это процесс, включающий в себя как коррозию, так и эрозию. Степень коррозионного воздействия усиливается при взаимном перемещении агрессивной жидкости и металлической поверхности. Это воздействие локализуется в местах, где присутствует высокая скорость или турбулентность потока. Отличительной чертой воздействия эрозионной коррозии является появление канавок или желобков с определенной направленностью.

Примеры металлов, являющихся объектами эрозионной коррозии:

- Бронза в морской воде
- Медь в воде.

Кавитационная коррозия

При увеличении скорости перекачиваемой жидкости ее давление снижается. Когда давление падает ниже уровня парообразования, жидкость закипает и образуются пузырьки воздуха. Когда давление снова возрастает, происходит разрыв пузырьков и образуется ударная волна. Следовательно, резкое прекращение процесса парообразования ведет к разрушению металла или его оксида на поверхности.

Примеры металлов, являющихся объектами кавитационной коррозии:

- Чугун в воде с высокой температурой
- Бронза в морской воде

Коррозионное растрескивание

Коррозионное растрескивание возникает при совместном влиянии напряжения металла при растяжении (внешнем или внутреннем) и коррозионном воздействии окружающей среды. Материал может дать трещину без какой-либо значительной деформации или очевидного износа. Часто точечная коррозия ассоциируется с явлением коррозионного растрескивания.

Примеры металлов, являющихся объектами коррозионного растрескивания:

- Нержавеющая сталь EN 1.4401 (AISI 316) в растворах хлоридов
- Латунь в аммиаке

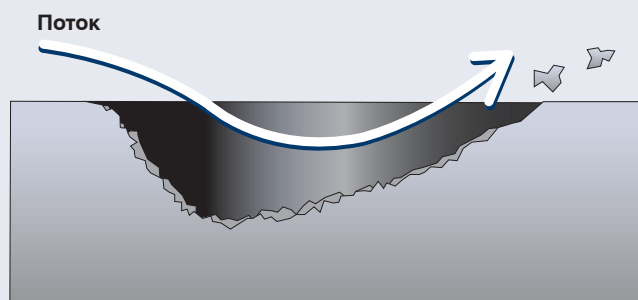


Рис.1.6.8: Эрозионная коррозия

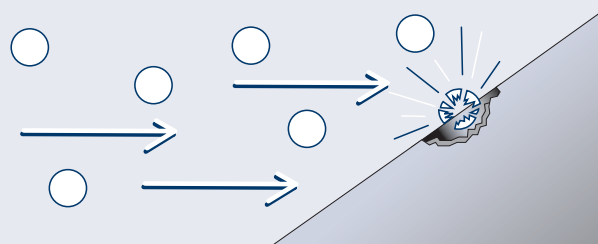


Рис.1.6.9: Кавитационная коррозия



Рис.1.6.10: Коррозионное растрескивание

Коррозионная усталость

Обычная механическая усталость возникает в результате воздействия на материал циклической нагрузки, в результате которой снижается предел прочности на растяжение. А если металл одновременно оказывается в коррозионной атмосфере, разрушение может произойти даже при меньшей нагрузке и в более короткие сроки. Не существует предела выносливости для коррозионной усталости, которая имеет место при обычной механической усталости.

Пример металла, являющегося объектом коррозионной усталости:

- Алюминий в коррозионной среде

Электрохимическая коррозия

В результате взаимодействия едкого электролита и двух металлических пластин (гальванический эффект), процесс коррозии усиливается на менее благородном металле (анодная пластина) и замедляется — на более благородном (катодная пластина). Усиление процесса коррозии называется электрохимической коррозией. Подверженность металла или сплава в гальваническом элементе коррозии зависит от его положения в электрохимическом ряду. Электрохимический ряд металлов и сплавов показывает их относительную стойкость к окружающей среде (например, морская вода, см. рис.1.6.12).

Чем больше металлы отдалены друг от друга в электрохимическом ряду, тем воздействие электрохимической коррозии будет больше.

Примеры металлов, являющихся объектами электрохимической коррозии:

- Сталь в паре с нержавеющей сталью EN 1.4401
- Алюминий в паре с медью

Принципы электрохимической коррозии используются в катодной защите. Катодная защита подразумевает уменьшение темпа коррозии металлической поверхности с помощью защитного анода (из цинка или алюминия) или тока, подаваемого в систему катодной защиты.

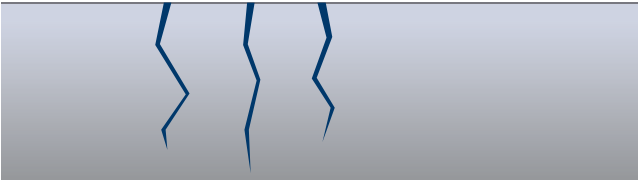


Рис.1.6.11: Усталостная коррозия

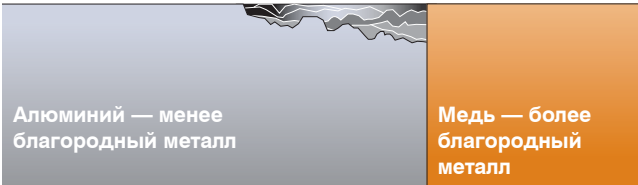


Рис.1.6.12: Электрохимическая коррозия

Электрохимический ряд металлов и сплавов для морской воды
Катод (наименее подвержен коррозии)
Платина
Золото
Титан (пассивный)
Серебро
Нержавеющая сталь (пассивная)
Медь
Бронза
Латунь
Олово
Нержавеющая сталь (активная)
Сталь
Алюминий
Цинк
Магний
Анод (наиболее подвержен коррозии)

Рис. 1.6.13: Электрохимический ряд металлов и сплавов при их взаимодействии с морской водой



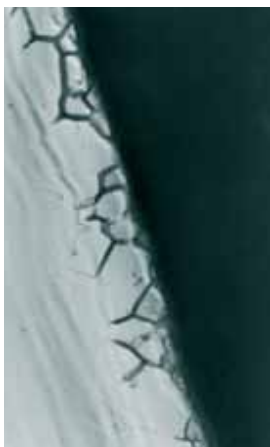
Кавитационная коррозия бронзового рабочего колеса



Эрозионная коррозия чугунного рабочего колеса



Точечная коррозия стали 1.4401 (AISI 316)



Межкристаллитная коррозия нержавеющей стали



Щелевая коррозия стали 1.4462 (SAF 2205)

1.6.3. Металлы и металлические сплавы

Далее Вы ознакомитесь с основными свойствами металлов и сплавов, применяемых при изготовлении насосов.

Железосодержащие сплавы

К железосодержащим относятся такие сплавы, в которых железо является основным компонентом. Эти сплавы наиболее популярны, так как они дешевы и универсальны.

Сталь

Наиболее широко используемым материалом является сталь, представляющая собой соединение железа и углерода. Углерод в стали содержится в диапазоне от 0,003% до 1,5% от общего веса. Углерод оказывает очень сильное влияние на прочность, свариваемость, механическую обрабатываемость, ковкость и твердость стали. Как правило, увеличение содержания углерода приводит к возрастанию прочности и твердости металла, в то время как свойства ковкости и свариваемости снижаются. Наиболее популярным типом стали является углеродистая сталь. Углеродистая сталь делится на четыре категории, см. рис.1.6.14.

Тип стали	Содержание углерода
Мягкая или низкоуглеродистая сталь	От 0,003% до 0,30%
Среднеуглеродистая сталь	От 0,30% до 0,45%
Высокоуглеродистая сталь	От 0,45% до 0,75%
Сверхвысокоуглеродистая сталь	От 0,75% до 1,5%

Рис.1.6.14: Четыре типа углеродистой стали

Сталь используется как в кованом, так и литом виде. Основные свойства литой и кованой стали сравнительно близки. Наиболее очевидным преимуществом такого вида стали является ее относительно дешевое производство, формование и обработка. С другой стороны, основным недостатком этой стали является ее очень низкая коррозионная стойкость по сравнению с нержавеющей сталью.

Чугун

Чугун является сплавом железа, кремния и углерода. Обычно содержание углерода составляет 3–4% от веса, большая его часть находится в свободном состоянии (графитовые включения). Существует два основных типа чугуна: серый чугун и ковкий чугун. Стойкость чугуна к коррозии сравнима со сталью, а иногда даже и превышает ее. Для улучшения коррозионной стойкости в чугун добавляют кремний, 13–16% от общего веса, или 15–35% никеля. Многие типы чугуна широко используются в промышленности, особенно при изготовлении вентилях, насосов, труб и других деталей. Чугун имеет хорошую коррозионную стойкость в нейтральных и щелочных средах (высокий уровень pH), но очень низкую стойкость в кислотах (низкий уровень pH).

Серый чугун

Обозначения серого чугуна			
Удельная нагрузка при растяжении, Н/мм ² , мин	EN 1563	DIN 1693	ISO 185
150	EN-GJL-150	GG-15	50
200	EN-GJL-200	GG-20	200
250	EN-GJL-250	GG-25	250

Рис.1.6.15: Сравнение и обозначение серого чугуна.

В сером чугуне графит рассредоточен в ферритно-перлитной основе в виде хлопьев. Хлопья графита действуют как концентраторы напряжений при нагрузке на разрыв, делая его более хрупким при растяжении, но более прочным и ковким при сжатии. Серый чугун, благодаря его способности к гашению вибрации, используется в электродвигателях. Это недорогой материал, он достаточно прост в отливке, с минимальным риском возникновения усадочной деформации. Эти свойства серого чугуна широко используются при изготовлении различных частей насоса с умеренными прочностными требованиями.

Ковкий чугун

Обозначения ковкого чугуна			
Удельная нагрузка при растяжении, Н/мм ² , мин	EN 1563	DIN 1693	ISO 1083
400	EN-GJS-400-18	GGG-40	400-18
400	EN-GJS-400-15	GGG-40.3	400-15
450	EN-GJS-450-10	—	450-10
500	EN-GJS-500-7	GGG-50	500-7

Рис.1.6.16: Сравнение и обозначения ковкого чугуна

В ковком чугуне содержится 0,03–0,05% магния от общего веса. Магний способствует преобразованию хлопьев графита в шаровидную форму, распределяя, таким образом, графит в ферритно-перлитной основе в виде сфер или узелков. Графитные узелки не имеют заостренных очертаний. Округленная форма узелкового графита уменьшает концентрацию напряжения, в результате материал становится более ковким. Из рисунка 1.6.16 видно, что удельная нагрузка на растяжение для ковкого чугуна выше, чем для серого. Ковкий чугун обычно используется для тех частей насоса, для которых существуют высокие прочностные требования (имеет место высокое давление или температура).

Нержавеющая сталь

Нержавеющая сталь — это сплав стали и хрома. Минимальное содержание хрома в стандартизированной нержавеющей стали составляет 10,5%. Хром увеличивает коррозионную стойкость нержавеющей стали посредством образования на поверхности металла слоя оксида хрома. Этот сверхтонкий слой при нормальных условиях способен самовосстанавливаться.

Нержавеющую сталь легируют и с помощью других химических элементов. Сплавы, включающие в себя эти элементы, образуют разные кристаллические структуры, придающие им разные свойства, необходимые при механической обработке, литье, сварке, сопротивлении коррозии и т. д. В общем, нержавеющая сталь имеет более высокую стойкость к химикатам (например, к кислотам), чем сталь и чугун.

В среде, содержащей хлориды, нержавеющая сталь может быть подвержена локальной коррозии — таким ее видам, как точечная или щелевая. Сопротивляемость стали этим типам коррозии очень сильно зависит от ее химического состава. Сейчас общепринятым считается так называемое PRE значение (эквивалент сопротивления точечной коррозии) — мера стойкости нержавеющей стали к точечной коррозии. Значение PRE рассчитывается по формулам, в которых учитывается относительное влияние нескольких легирующих элементов на стойкость к коррозии. Чем выше значение

PRE, тем выше стойкость сплава к местной коррозии. Необходимо помнить, что PRE значение является очень приблизительной оценкой стойкости к точечной коррозии и может быть использовано только при сравнении и классификации разных типов нержавеющей стали.

Далее мы представим четыре наиболее важных типа нержавеющей стали: ферритную, мартенситную, аустенитную и ферритно-аустенитную.

Рис. 1.6.17: Химический состав нержавеющей стали

Химический состав нержавеющей стали (w%)							
Микроструктура	Обозначение по стандартам EN/AISI/UNS	Углерод макс., %	Хром, %	Никель, %	Молибден, %	Другой, %	PRE ⁵⁾
Ферритная	1.4016/430/S43000	0,08	16–18				17
Мартенситная	1.4057/431/S43100	0,12–0,22	15–17	1,5–2,5			16
Аустенитная	1.4305/303/S30300	0,1	17–19	8–10		S 0,15–0,35	18
Аустенитная	1.4301/304/S30400	0,07	17–19,5	8–10,5			18
Аустенитная	1.4306/304L/S30403	0,03	18–20	10–12			18
Аустенитная	1.4401/316/S31600	0,07	16,5–18,5	10–13	2–2,5		24
Аустенитная	1.4404/316L/S31603	0,03	16,5–18,5	10–13	2–2,5		24
Аустенитная	1.4571/316Ti/S31635	0,08	16,5–18,5	10,5–13,5	2–2,5	Ti > 5 x Углерод Ti < 0,70	24
Аустенитная	1.4539/904L/N08904	0,02	19–21	24–26	4–5	Cu 1,2–2	34
Аустенитная	1.4547/нет/S31254 ³⁾	0,02	20	18	6,1	N 0,18–0,22 Cu 0,5–1	43
Ферритная/ Аустенитная	1.4462/нет/S32205 ²⁾	0,03	21–23	4,5–6,5	2,5–3,5	N 0,10–0,22	34
Ферритная/ Аустенитная	1.4410/нет/S32740 ⁴⁾	0,03	25	7	4	N 0,24–0,32	43
Аустенитная ¹⁾	1.4308/CF8/J92600	0,07	18–20	8–11			19
Аустенитная ¹⁾	1.4408/CF8M/J92900	0,07	18–20	9–12	2–2,5		26
Аустенитная ¹⁾	1.4409/CF3M/J92800	0,03	18–20	9–12	2–2,5	N макс. 0,2	26
Аустенитная	1.4584/нет/нет	0,025	19–21	24–26	4–5	N макс. 0,2 Cu 1–3	35
Ферритная/ Аустенитная	1.4470/CD3MN/J92205	0,03	21–23	4,5–6,5	2,5–3,5	N 0,12–0,2	35
Ферритная/ Аустенитная	1.4517/CD4MCuN/ J93372	0,03	24,5–26,5	2,5–3,5	2,5–3,5	N 0,12–0,22 Cu 2,75–3,5	38

¹⁾ Содержит немного феррита

²⁾ Известен как SAF 2205

³⁾ Известен как 254 SMO

⁴⁾ Известен как SAF 2507

⁵⁾ Эквивалент сопротивления точечной коррозии (PRE): Cr% + 3.3 x Mo% + 16 x N%.

Ферритная (магнитная) сталь

Ферритная нержавеющая сталь имеет довольно хорошие антикоррозийные свойства, высокую стойкость к коррозионному растрескиванию и умеренную прочность. Низколегированная ферритная нержавеющая сталь применяется для среднеагрессивной окружающей среды (чайные ложки, раковины для кухни, барабаны стиральных машин и т. д.).

Мартенситная (магнитная) сталь

Мартенситная нержавеющая сталь имеет высокую прочность, но ограниченную коррозионную стойкость. Мартенситная сталь обычно используется для производства пружин, валов, хирургических инструментов и таких острых предметов, как ножи и ножницы.

Аустенитная (немагнитная) сталь

Аустенитная нержавеющая сталь является наиболее популярным видом стали, отличается высокой коррозионной стойкостью, очень хорошей формовкостью, прочностью и свариваемостью. Аустенитная нержавеющая сталь, особенно 1.4301 и 1.4401, используется в промышленности для производства почти всех компонентов насосов. Изделия из этой стали могут быть коваными или литыми.

Нержавеющая сталь 1.4305 из всех видов сталей наиболее пригодна для машинной обработки. Обрабатываемость стали значительно улучшилась в связи с высоким содержанием серы (0,15–0,35%), но, к сожалению, и за счет таких качеств, как коррозионная стойкость и свариваемость. Несмотря на это, с течением времени были разработаны марки стали с низким содержанием серы, и, таким образом, коррозионная стойкость ее была улучшена.

При длительном нагреве нержавеющей стали до температур 500°C–800°C при сварочных работах, хром может перейти в форму карбида хрома, соединяясь с содержащимся в металле углеродом. Это будет снижать способность хрома восстанавливать антикоррозийный слой, и может привести к образованию межкристаллитной коррозии.

Если используются марки стали с пониженным содержанием углерода, риск коррозии уменьшается. Нержавеющая сталь с низким содержанием углерода — 1.4306 (AISI 304L) или 1.4404 (AISI 316L). Обе марки содержат 0,03% углерода, а нержавеющая сталь 1.4301 (AISI 304) и 1.4401 (AISI 316) содержит 0,07% углерода, см. иллюстрацию 1.6.17.

Сталь 1.4571 (AISI 316Ti) содержит небольшое количество титана. Так как титан легче связывается с углеродом, чем хром, образование карбида хрома сводится к минимуму. Содержание углерода в современных нержавеющих сталях достаточно низкое, и в связи со сравнительно невысокой стоимостью сталей марок «L», использование стали с примесью титана заметно уменьшилось.

Ферритно-аустенитная, или выплавленная дуплекс-процессом (магнитная) сталь

Ферритно-аустенитная нержавеющая сталь характеризуется высокой прочностью, твердостью, хорошей стойкостью коррозии, в том числе к коррозионному растрескиванию и коррозионной усталости.

Этот вид стали обычно используется, если необходимы такие качества, как высокая прочность, стойкость к коррозии и коррозионному растрескиванию, или комбинации этих качеств. Нержавеющая сталь 1.4462 широко используется при изготовлении валов и корпусов насосов.

Никелевые сплавы

В сплавах на основе никеля содержание этого металла в пропорциональном отношении превосходит другие легирующие элементы. Наиболее важными легирующими компонентами являются железо, хром, медь и молибден. Добавление легирующих составляющих позволяет формировать широкий диапазон сплавов. Никель и никелевые сплавы обладают способностью работать в сложных условиях, таких как коррозионная окружающая среда, высокая температура, высокие напряжения или комбинации этих факторов.

Сплавы Hastelloys™ (Хастеллой) представляют линию сплавов, содержащих Ni, Mo, Cr и Fe. Сплавы на основе никеля, такие как Inconel™ Alloy 625, Hastelloys™ C-276 и C-22, высокоустойчивы к точечной и щелевой коррозии в морской воде с низкой скоростью и не подвергаются эрозийной коррозии при высоких скоростях.

Высокая стоимость никелевого сплава ограничивает его использование в определенных областях. Никелевые сплавы бывают как ковкими, так и литейными. Эти сплавы литье труднее, чем обычные углеродистые и нержавеющие стали. Никелевые сплавы применяются для изготовления деталей насосов, используемых в химической промышленности.

Медные сплавы

Чистая медь имеет прекрасные термические и электрические свойства, но является и очень пластичным металлом.

Легирующие добавки приводят к созданию новых сплавов, обладающих необходимыми свойствами для литья и сварки. Эти сплавы широко используются в производстве насосов, трубопроводов, фитингов, баков высокого давления и во многих других машиностроительных производствах.

Основные типы медных сплавов				
Сплав	Основные легирующие элементы (w%) ¹⁾			
	Цинк	Олово	Никель	Медь
Латунь	10–30	—	—	Остальное
Красная латунь	5–10	5–10	—	Остальное
Бронза ²⁾	—	10	—	Остальное
Купроникель	—	—	20–30	Остальное

¹⁾ может быть добавлен свинец, как легирующий элемент, для улучшения механической обрабатываемости.

²⁾ в бронзу может быть добавлен алюминий для увеличения прочности.

Рис.1.6.18: Основные типы медных сплавов.

Латунь, благодаря ее низкой стоимости, простоте производства и хорошей обрабатываемости, является наиболее популярным медным сплавом. Однако латунь менее прочна, чем бронза, и не может быть использована в средах, где происходит избирательная коррозия латуни.

Красная латунь, бронза и медный никель имеют хорошую стойкость к хлоридам в агрессивных жидкостях, таких как морская вода. Однако при интенсивном использовании в таких средах применение бронзы нежелательно, так как она имеет тенденцию к вымыванию цинка (удаление цинкового покрытия). Все медные сплавы имеют низкую стойкость к щелочным жидкостям (высокий уровень pH), аммиаку и сульфидам и легко подвергаются эрозии. Латунь, красная латунь и бронза широко используются при изготовлении подшипников, рабочих колес и корпусов насосов.

Алюминий

Обозначение	Основной легирующий элемент
1000-серии	Нелегированный (чистый) > 99% Al
2000-серии	Медь — основной легирующий элемент, могут быть включены другие элементы (магний)
3000-серии	Марганец — основной легирующий элемент
4000-серии	Кремний — основной легирующий элемент
5000-серии	Магний — основной легирующий элемент
6000-серии	Магний и кремний — основные легирующие элементы
7000-серии	Цинк является основным легирующим элементом, но могут быть включены и другие, такие как медь, магний, хром и цирконий.
8000-серии	Другие элементы (включая примеси олова и лития)

Рис.1.6.19: Основные легирующие элементы для алюминия.

Чистый алюминий является легким и мягким металлом, с удельным весом, составляющим одну треть от удельного веса стали. Он обладает высокой термо- и электропроводностью. Наиболее часто используемыми легирующими элементами являются кремний (силумин), магний, железо и медь. Кремний усиливает литейные качества, медь — обрабатываемость, а магний повышает его коррозионную стойкость и прочность.

Очевидным преимуществом алюминия является то, что на его поверхности образуется оксидный слой, который имеет высокую коррозионную стойкость. Обработка, такая как анодирование, в дальнейшем может улучшить эти свойства. Алюминиевые сплавы широко используются в отраслях, где необходима высокая прочность при малом весе, таких как авиационное и т.п. Например, использование алюминия в самолетостроении снижает потребление топлива.

С другой стороны, основным недостатком алюминия является его нестабильность в средах с низким или высоким уровнем pH и в хлорсодержащих средах. Это свойство делает алюминий непригодным для работы с водными растворами, особенно в условиях сильного потока. Это качество обостряется еще и тем фактом, что алюминий является химически активным металлом, т. е. имеет низкое положение в электрохимическом ряду (см. электрохимическую коррозию) и, будучи в паре с более благородным металлом или сплавом, может быть легко подвержен электрохимической коррозии.

Титан

Марки титана ASTM	Характеристики сплава	Свойства
Марки 1, 2, 3, 4	CP марки с повышенным содержанием кислорода	Сопrotивляемость коррозии с хорошими литейными и сварочными свойствами
Марка 7, 11	CP марки с добавлением палладия	Повышенная стойкость коррозии, в том числе щелевой, в слабых кислотах
Марка 5	6% Al, 4% V	Высокопрочный сплав. Широко используется в авиационной промышленности

Рис.1.6.20: Марки титана и характеристики сплавов

Чистый титан имеет небольшую плотность, является довольно пластичным металлом и имеет относительно низкую прочность. Несмотря на это, при добавлении определенного количества кислорода происходит усиление прочностных свойств титана, и получаются так называемые «технически чистые» марки. Добавление некоторых легирующих элементов, таких как алюминий и ванадий, значительно увеличивают его прочность за счет потери эластичности. Титан, легированный алюминием и ванадием (Ti-6Al-4V), является основным титановым сплавом в промышленности. Он используется при производстве авиакосмических двигателей и различных компонентов в авиационной промышленности. Так как титан является довольно дорогим металлом, он не находит широкого применения при изготовлении деталей насосов.

Титан — это высокоактивный химический элемент. Коррозионная стойкость титана, как и нержавеющей стали, зависит от образующейся на поверхности оксидной пленки, причем у титана эта пленка более устойчива к коррозии, чем у нержавеющей стали. Поэтому титан более устойчив к агрессивным жидкостям, таким как морская вода, растворы хлоридов или органические хлориды, которые образуют точечную и щелевую коррозии.

1.6.4. Керамика

Керамические материалы — это неорганические и неметаллические вещества, которые в природе обычно имеют кристаллическую форму. Они включают в себя металлические и неметаллические элементы. Наиболее известные технические керамические материалы — это оксид алюминия (глинозем — Al_2O_3), карбид кремния (SiC), карбид вольфрама (WC) и нитрид кремния (Si_3N_4).

Керамические материалы используются там, где необходимы такие свойства, как высокая термическая стабильность, прочность, износостойкость и коррозионная стойкость. Основными недостатками этих материалов являются низкая эластичность и хрупкость. Керамические материалы в основном используются при изготовлении подшипников и уплотняющих поверхностей в уплотнениях валов.

1.6.5. Пластмассы

Обозначение	Название полимера
PP	Полипропилен
PE	Полиэтилен
PVC	Поливинилхлорид
PEEK	Политеретеркетон
PVDF	Поливинилиденфторид
PTFE	Тефлон

Рис.1.6.21: Названия полимеров

Некоторые пластические материалы имеют природное происхождение (например, растительное), но многие из них производятся синтетическим путем. Они известны, как синтетические полимерные материалы. Многие из них получены из нефти, а также из угля и природного газа. Существует два основных типа пластических материалов: термопласты и термореактивная пластмасса. Наиболее широко используемым материалом являются термопласты.

Пластмассы часто содержат добавки, которые придают этим материалам определенные дополнительные качества. Более того, пластмассы могут быть упрочнены с помощью добавления стекловолокна или других волокон. Эти пластмассы вместе с добавками и волокнами относятся к композиционным материалам.

Примеры добавок, использующихся в пластмассах:

- Неорганические наполнители для усиления механических свойств
- Химические стабилизаторы, например, антиоксиданты

- Пластификаторы
- Антипирены

Термопласты

Термопласты состоят из длинных полимерных молекул, которые не соединены друг с другом и не пересекаются. Они часто поставляются в виде гранул, и для придания им определенной формы используются методы отливки и выдавливания. Применяется широкий спектр таких пластмасс — от термопластов для производства предметов потребления (PE, PP, PVC), имеющих невысокую стоимость, до дорогих, используемых в машиностроении, таких как PEEK, и химически стойких фторополимеров, как PTFE, PVDF. PTFE — это один из видов термопластов, которые не плавятся. Эти пластмассы широко используются при изготовлении корпусов насосов и трубопроводов.

Термореактивные пластмассы

Термореактивные пластмассы становятся более твердыми при нагреве, так как поперечные межмолекулярные связи препятствуют изгибу и вращению молекул. Такая межмолекулярная структура достигается путем добавления химических веществ, нагрева и воздействия радиации; такой процесс называется вулканизацией. Эти пластмассы являются более твердыми, более стабильными по размерам, но более хрупкими, чем термопласты, и не поддаются переплавке. Иногда термореактивные пластмассы включают в себя эпоксидные смолы, полиэфиры и полиуретаны. Эти материалы широко используются для защитных покрытий.



Рис.1.6.22: Различные типы полимеров

1.6.6. Резина

Обозначение	Общепринятое название	Торговое название материала
NBR	Нитриловая резина	Buna-N®
EPDM, EPM	Этиленпропиленовый каучук	Nordel®
FKM	Фторэластомеры	Viton®
MQ, VMQ, PMQ, FMQ	Кремнийорганический (силиконовый) каучук	Siloprene®
FFKM	Перфторированные эластомеры	Chemraz® Kalrez®

Рис.1.6.23: Типы резины

Понятие «резина» (каучук) включает в себя две разновидности: натуральный каучук и синтетический каучук. Каучуки (или эластомеры) — это эластичные длинноцепные полимеры, которые легко могут быть растянуты, при этом увеличив свою первоначальную длину в несколько раз, и которые легко возвращаются к первоначальному размеру после снятия напряжения. Каучуки имеют поперечные межмолекулярные связи (вулканизированные), но у них очень низкая поперечная межмолекулярная плотность соединений, см. рис.1.6.22. Поперечная межмолекулярная связь является ключевым моментом такого свойства этих материалов, как эластичность. Эластичность обеспечивает такое качество, как упругость в уплотнительных соединениях. Различные компоненты насосов производятся из каучука, например, уплотнительные прокладки и кольцевые уплотнения (см. раздел 1.3, уплотнения вала). В этом разделе мы уделим внимание свойствам различных видов каучуков по отношению к температуре и сопротивляемости разным жидкостям.

Нитрильный каучук (NBR)

Для работы при температуре до 100°C применяется нитрильный каучук — недорогой материал, имеющий высокую стойкость к воздействию нефти и горючих жидкостей. Существуют различные марки NBR — чем выше содержание акрилонитрила (ACN), тем выше стойкость к нефти, но тем ниже температурная упругость. Нитрильные каучуки имеют высокую упругость и износостойкость, но умеренную прочность. Более того, у них ограниченная стойкость против атмосферных воздействий и низкая сопротивляемость растворению. В основном, этот материал используется при температуре до -30°C, но определенные марки могут работать и при более низких температурах.

Этиленпропиленовый каучук (EPDM)

Этиленпропиленовый каучук имеет прекрасную стойкость к воде с высокими температурами, приблизительно до 120–140°C. Этот тип имеет также хорошую устойчивость к кислотам, сильным щелочам и высокополярным жидкостям, таким как метанол и ацетон. Но у него очень низкая устойчивость к нефти и горючим жидкостям.

Фторэластомеры (FKM)

Фторэластомеры охватывают все семейство каучуков, применимых для работы с нефтью, горючими жидкостями и широким спектром химических веществ, включая и неполярные растворители. FKM каучук обеспечивает прекрасную стойкость при высоких рабочих температурах (до 200°C в зависимости от марки) и различных типах масел. Эти каучуки имеют ограниченную сопротивляемость к пару, горячей воде, метанолу и другим высокополярным жидкостям. Они также неустойчивы к аминам, сильным щелочам и ко многим фреонам. Существуют определенные стандарты и специальные марки, имеющие специальные свойства, такие как повышенная стойкость к низким температурам и химическим реагентам.

Кремнийорганический (силиконовый) каучук (Q)

Силиконовые каучуки имеют низкую остаточную деформацию при сжатии в широком диапазоне температур (от -60°C до 200°C в воздухе), прекрасные электроизоляционные характеристики, и они не токсичны. Эти каучуки очень стойки к воде, некоторым кислотам и окисляющим химическим веществам. Но силиконовые каучуки не должны использоваться с концентрированными кислотами, щелочами и растворами. К тому же, они имеют низкую устойчивость к маслам и горючим жидкостям. Несмотря на это, сопротивляемость силиконового каучука типа FMQ к маслам и горючим жидкостям выше, чем у каучуков типов MQ, VMQ и PMQ.

Перфторированные эластомеры (каучуки) FFKM

Перфторированные эластомеры отличаются очень высокой, сравнимой с тефлоном PTFE, стойкостью к химическим реагентам. Они могут использоваться при очень высоких температурах, но их основными недостатками являются сложность производства, очень высокая стоимость и ограниченное применение при низких температурах.

1.6.7. Защитные покрытия

Защитные покрытия — металлические, неметаллические (неорганические) или органические — являются одним из основных гарантов противодействия коррозии. Основная задача этих покрытий (за исключением электрохимических покрытий, таких как цинк) — создание эффективного барьера между металлом (основой) и окружающей его средой. При этом можно использовать обычную сталь и алюминий вместо дорогих материалов. Далее мы рассмотрим, как можно избежать коррозии с помощью различных защитных покрытий:

Металлических и неметаллических (неорганических) и органических защитных покрытий.

Металлические защитные покрытия

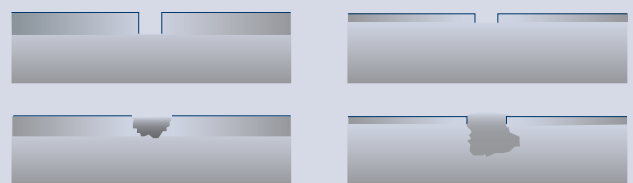
Покрытие менее благородным металлом, чем основа

Наиболее часто используются для защиты стали от атмосферной коррозии цинковые покрытия. Цинк выполняет две функции: он действует как барьерное покрытие и обеспечивает электрохимическую защиту. При возникновении угрозы коррозии, в первую очередь, начинает подвергаться ее воздействию цинк и, таким образом, защищает сталь. Такая форма защиты называется катодной защитой. При небольших повреждениях продукт защитной коррозии цинка будет заполнять зоны, подвергающиеся воздействию коррозии, и приостанавливать дальнейший процесс.

Покрытие более благородным металлом, чем основа

Гальванические покрытия стали никелем или хромом — это примеры металлических покрытий, являющихся более благородными, чем основа. В отличие от гальванического покрытия основы менее благородным металлом, который подвергается коррозии вблизи участков воздействия на основной металл, возникновение каких-либо повреждений в более благородном защитном покрытии приведет к немедленному повреждению основного металла.

Гальванические покрытия для защиты от коррозии



Защищая стальную основу, цинковое покрытие медленно растворяется в результате гальванической реакции.

Сталь покрыта более благородным металлом, таким как никель; подвергается коррозии быстрее при повреждении покрытия.

Рис.1.6.24: Гальванические покрытия для защиты от коррозии

Неметаллические (неорганические) покрытия

Преобразующие покрытия являются важным видом неметаллических (неорганических) покрытий.

Преобразующие покрытия

Преобразующие покрытия формируются под воздействием контролируемой коррозионной реакции основы в окисляющем растворе. Хорошо известными примерами преобразующего покрытия являются анодированный или хромированный алюминий и фосфатная обработка стали. Анодирование, в основном, используется для защиты алюминиевых поверхностей, в то время как обработка хромом и фосфором производится как предварительная подготовка для покраски. Кроме улучшения окрашивания, это покрытие предотвращает образование ржавчины под слоем краски.

Органические покрытия

Органические покрытия содержат органические компоненты. Эти покрытия наносятся на металлические поверхности путем распыления, погружения, нанесением кистью, футеровкой или катафорезом (краска наносится с помощью электрического тока) и могут подвергаться последующей термообработке (сушке). Термопластические покрытия, такие как полиамид, полипропилен, полиэтилен, PVDF и PTFE, а также эластомерные покрытия, применяются для металлических поверхностей, при этом происходит объединение механических свойств металлов с химической устойчивостью пластиков. Окрашивание является самым популярным способом нанесения органического покрытия.

Лакокрасочное покрытие

Как было упомянуто ранее, лакокрасочное покрытие является наиболее популярным видом органического покрытия. На рис.1.6.25 представлено несколько вариантов органических покрытий. Типичный состав краски представляет собой смесь полимерных связующих веществ, растворов, пигментов и добавок. По причине проникновения в окружающую среду, органические растворители были заменены водой или просто перестали применяться, т. е. покрытия стали производить в виде порошка. Краска обычно наносится двумя и более слоями на слой грунта, который напрямую контактирует с металлом.

Физическое состояние основных органических покрытий				
Тип смолы	На растворителе	На воде	Порошковое покрытие	Два компонента жидкости
Акриловая	X	X	X	
Алкидная	X	X		
Эпоксидная	X	X	X	X
Полиэфирная	X		X	X
Полиуретановая	X	X	X	X
Виниловая	X	X	X	

Рис.1.6.25: Физическое состояние основных органических покрытий.

Раздел 2.1. Монтаж насоса

- 2.1.1. Монтаж нового насоса
- 2.1.2. Замена существующего насоса на новый
- 2.1.3. Способы соединения насоса и трубопровода
- 2.1.4. Ограничение шума и вибраций
- 2.1.5. Уровень шума (L)

Раздел 2.2. Рабочие характеристики насоса

- 2.2.1. Гидравлические параметры
- 2.2.2. Электрические параметры
- 2.2.3. Свойства жидкости



Правильность подбора насоса имеет решающее значение для упрощения пусконаладочных работ. Чем больше насосы, тем выше расходы на их монтаж, ввод в эксплуатацию, управление и обслуживание. Именно эти затраты составляют стоимость жизненного цикла изделия (LCC). Рекомендации, приводимые далее, справедливы для всех насосов, но особенно подходят они для относительно больших машин.

2.1.1 Монтаж нового насоса

- Если трубопроводы еще не спроектированы, Вы можете выбирать насос по таким критериям, как, например, КПД, первоначальные затраты, а также стоимость жизненного цикла (LCC). Эти вопросы мы рассмотрим в следующих разделах.
- Если трубопроводы уже спроектированы, то необходимо выбирать насос так, чтобы вносить как можно меньше изменений в конструкцию.

2.1.2. Замена существующего насоса на новый

Следующие шаги помогут вам сделать оптимальный выбор насоса для существующей системы:

При осмотре места установки насоса необходимо уделять внимание следующим элементам:

- Общая конструкция трубопроводов внутри и снаружи здания
- Конфигурация трубопровода в месте монтажа насоса (Вы можете выбрать насос «ин-лайн» или насос одностороннего всасывания), размеры, ответвления трубопровода
- Место установки насоса — ширина, длина и высота
- Доступность для монтажа и технического обслуживания
- Наличие грузоподъемных механизмов или доступность такого оборудования
- Тип пола — имеется в виду обычный или регулируемый
- Наличие фундамента
- Наличие электричества

Насос, подлежащий замене

- Производитель насоса, тип насоса, его технические характеристики, рабочая точка, уплотнения вала, материалы, прокладки, устройства управления
- История насоса: продолжительность работы, сервисное обслуживание

Требования к устанавливаемому насосу

- Что хотелось бы улучшить?
- Параметры насоса: рабочая точка, тип и температура жидкости, продолжительность работы и т.д.
- Необходимые ЗИП

Замена оборудования более современным должна производиться так, чтобы затраты на переоборудование окупались за максимально короткий срок. Это может быть экономия при монтаже, оценке общей стоимости жизненного цикла или повышение экологичности производства, снижение шума или вибрации.

Подбор

- Должен основываться на техническом задании

Для правильного подбора насоса и его монтажа необходимо учитывать два основных момента: конфигурацию трубопровода и ограничения по шуму и вибрации.

2.1.3. Способы соединения насоса и трубопровода

На рис. 2.1.1 представлены способы соединения насоса и трубопровода. При параллельной установке очень большое значение имеет удобство обслуживания каждого насоса.

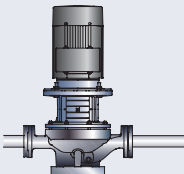
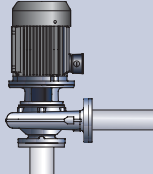
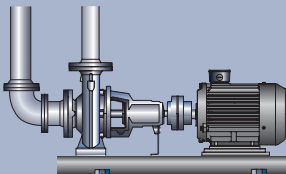
Тип насоса					
Трубопровод			А. «Ин-лайн» (горизонтальный или вертикальный монтаж)	В. Консольно-моноблочный одностороннего всасывания (горизонтальный или вертикальный монтаж)	С. Консольный, одностороннего всасывания с соединительной муфтой (только горизонтальный монтаж)
К насосу	От насоса				
 Вдоль пола	Вдоль пола		Наилучший вариант	Хороший вариант	Хороший вариант
	К полу		Наилучший вариант	Хороший вариант	Хороший вариант
	К потолку		Хороший вариант	Наилучший вариант	Наилучший вариант
 От пола	Вдоль пола		Хороший вариант	Наилучший вариант	Приемлемый вариант
	К полу		Хороший вариант	Наилучший вариант	Приемлемый вариант
	К потолку		Хороший вариант	Наилучший вариант	Наилучший вариант
 От потолка	Вдоль пола		Наилучший вариант	Приемлемый вариант	Приемлемый вариант
	К полу		Наилучший вариант	Хороший вариант	Хороший вариант
	К потолку		Хороший вариант	Наилучший вариант	Наилучший вариант
Монтаж по стене	Монтаж по стене		Наилучший вариант	Хороший вариант	Не применим

Рис. 2.1.1: Трубопроводы и тип насоса

При параллельной установке нескольких насосов очень важен как сам выбор насосов, так и удобство техобслуживания. Трубная обвязка усложняет техобслуживание насосов «ин-лайн», установленных параллельно, см. рис. 2.1.2. Насосы одностороннего всасывания, смонтированные параллельно, как видно из рисунка 2.1.3, более удобны для техобслуживания.

2.1.4. Ограничение шума и вибраций

Чтобы достичь оптимальной работы и минимизировать шум и вибрацию, в определенных случаях необходимо установить демпферы вибрации. Обычно меры по вибро-шумоизоляции применяют при установке больших насосов с электродвигателем мощностью свыше 7,5 кВт. Однако, нежелательные шум и вибрацию могут также вызывать и электродвигатели меньших типоразмеров. Шум и вибрация возникают из-за высоких скоростей вращения вала электродвигателя и насоса, а также при прохождении жидкости по трубопроводу. Снижение шума и вибрации зависит и от правильного монтажа системы.

Фундамент и пол

Конструкции полов могут быть разделены на два типа:

- **Обычный пол** (настил расположен прямо на фундаменте) — минимальная вероятность возникновения шума из-за плохой передачи вибрационных колебаний, см. рис. 2.1.4.
- **Регулируемый пол** (между настилом и фундаментом существует воздушная прослойка) — происходит усиление шума, т.к. прослойка действует как резонатор, см. рис. 2.1.5.

Насос должен монтироваться на ровной жесткой поверхности. Существует четыре основных способа монтажа для этих двух типов конструкции полов: пол, цоколь, плавающий фундамент, монтаж на виброопорах.

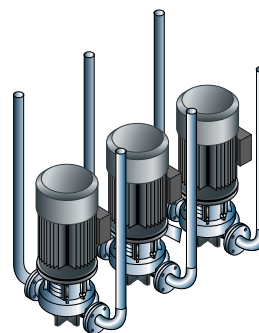


Рис. 2.1.2:
Три параллельно установленных «ин-лайн» насоса;
из-за трубной обвязки техобслуживание усложнено

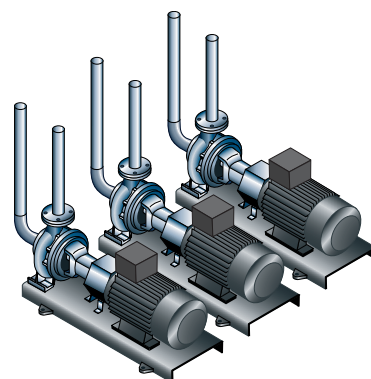


Рис. 2.1.3:
Три параллельно установленных насоса одностороннего
всасывания более удобны для техобслуживания

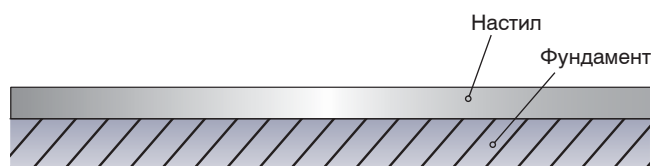


Рис. 2.1.4: Обычный пол

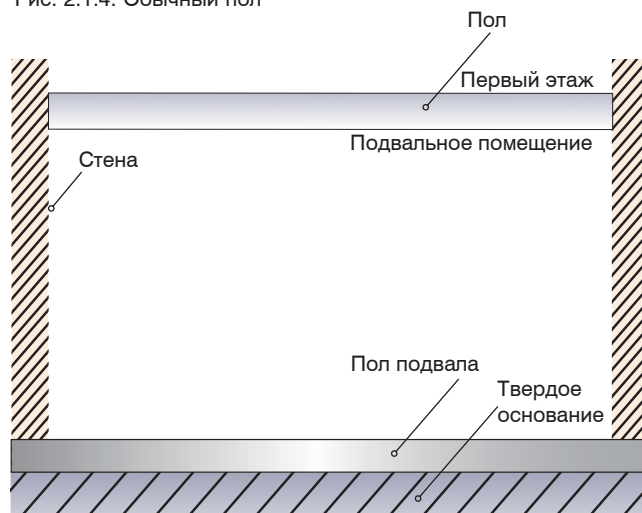


Рис. 2.1.5: Регулируемый пол



Монтаж на полу

При монтаже насоса непосредственно на полу происходит прямая передача вибрации на конструкции здания, см. рис. 2.1.6.

Монтаж на бетонном основании

Насос устанавливается на бетонном основании, см. рис. 2.1.7.

Монтаж на «плавающем» фундаменте

Между бетонным основанием и фундаментом здания делается подушка из виброизоляционного материала, например, песка, см. рис. 2.1.8.

Монтаж на основании, установленном на вибрационных опорах

Такой способ — оптимальное решение для уменьшения вибрационных колебаний, см. рис. 2.1.9.

Как правило, масса бетонного основания должна быть в полтора раза больше массы насоса ($1,5 \times$ вес насоса). Такое соотношение обеспечивает эффективную работу опор при низких скоростях вращения вала насоса.

Рис. 2.1.6:
Монтаж на полу

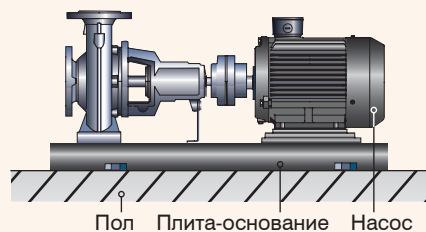


Рис. 2.1.7: Монтаж
на бетонном
основании

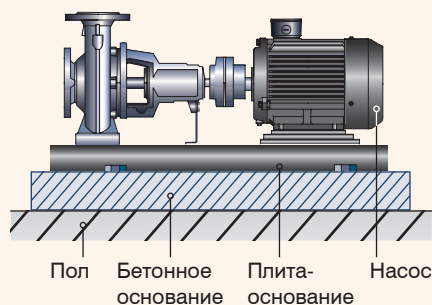


Рис. 2.1.8: Монтаж
на «плавающем»
фундаменте

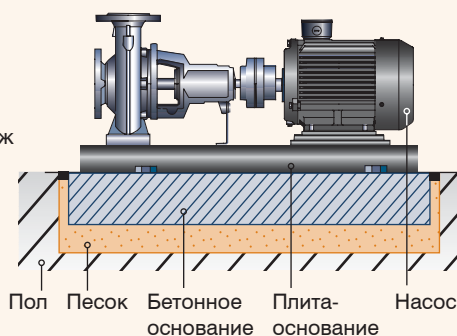


Рис. 2.1.9: Монтаж
на основании, уста-
новленном на vibra-
ционных опорах

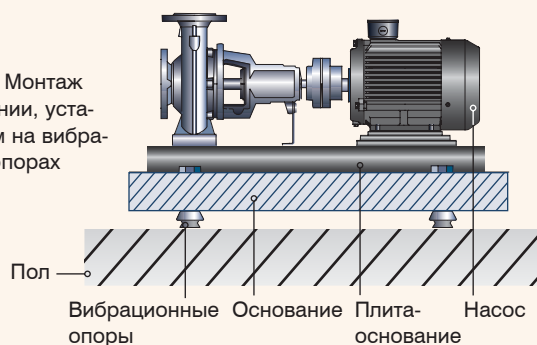
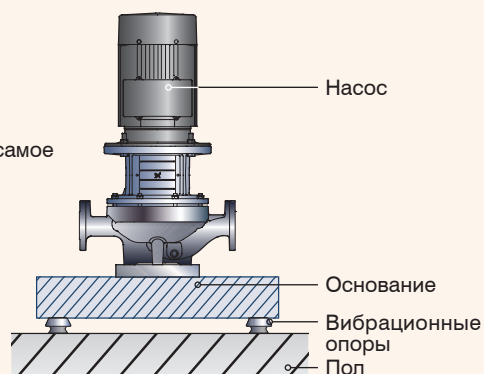


Рис. 2.1.10: То же самое
правило по весу
относится и
к вертикальным
«ин-лайн» насосам



Вибрационные опоры

Для правильного подбора виброопор необходимо знать следующие технические показатели:

- Силы, действующие на опоры
- Частота вращения вала электродвигателя, учитываемая регулирование
- Необходимое демпфирование в % (предлагаемое значение — 70%)

При выборе опор необходимо учесть целый ряд факторов, поскольку их установка может не только улучшить виброизоляцию, но и ухудшить ее. Расчеты должны проводиться специалистами, в соответствии с принятой методикой.

При установке насосов на виброопорах всегда необходимо устанавливать на трубопровод компенсаторы как на всасывающем, так и на напорном патрубках насоса.

Компенсаторы

Компенсаторы устанавливаются для:

- Компенсации расширений/сжатий трубопровода, возникающих из-за изменения температуры перекачиваемой жидкости
- Уменьшения механических напряжений, возникающих в связи с перепадами давления в трубопроводе
- Изоляции механического шума в трубопроводе (не для сильфонных компенсаторов)

Если в системе трубопровода имеются такие нарушения, как плохая центровка или неточное совмещение фланцев, компенсаторы не погасят возникшую по этим причинам вибрацию.

Компенсаторы устанавливаются на расстоянии минимум от 1 до 1,5 диаметра от всасывающего патрубка насоса, то же касается и напорного патрубка. Это позволяет избежать возникновения турбулентности в стыках, обеспечивая лучшие условия всасывания и минимальные потери давления на нагнетании. При высоких скоростях воды (> 5 м/сек) рекомендуется устанавливать большие компенсаторы, соответствующие размерам трубопровода.

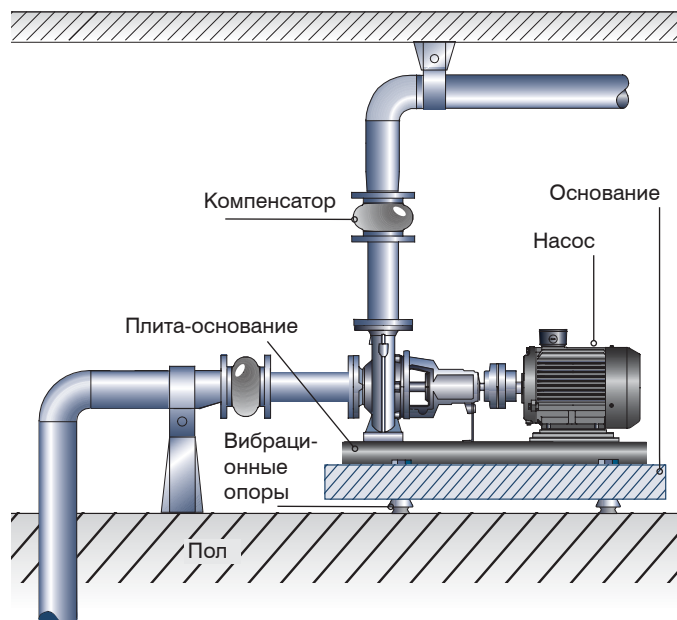


Рис. 2.1.11: Монтаж с компенсаторами, вибрационными опорами и фиксированным трубопроводом.



На рисунках 2.1.12–2.1.14 показаны примеры резиновых сифонных компенсаторов со стяжными шпильками и без них.

Компенсаторы со стяжными шпильками используются для минимизации напряжений, возникающих на стыках. Такие компенсаторы рекомендуются для трубопроводов диаметром свыше DN 100.

Компенсаторы без стяжных шпилек будут оказывать воздействие на фланцы насоса, которое будет передаваться на насос и трубопровод.

Трубы должны быть зафиксированы таким образом, чтобы не возникало напряжение в компенсаторах, см. рис. 2.1.11. Точки фиксации всегда должны располагаться как можно ближе к местам присоединения трубопровода. При монтаже необходимо выполнять все инструкции поставщика.

При работе с перекачиваемой жидкостью при высоких давлениях и температурах предпочтительнее устанавливать металлические сифонные компенсаторы.

2.1.5. Уровень шума (L)

Уровень шума в системе измеряется в децибелах (дБ). Шум в системе — явление нежелательное. Уровень шума может оцениваться с помощью следующих показателей:

1. Уровень звукового давления L_p — давление звуковых волн;
2. Уровень звуковой мощности L_M — мощность звука;
3. Уровень интенсивности звука L_I — мощность звука на m^2 (здесь не рассматривается);

Для приблизительного сравнения этих величин действуют следующие эмпирические зависимости:

Для небольших насосов (1,5 кВт):

$$L_M = L_p + 11 \text{ дБ}$$

Для больших насосов (110 кВт):

$$L_M = L_p + 16 \text{ дБ}$$



Рис. 2.1.12: Резиновые сифонные компенсаторы со стяжными шпильками

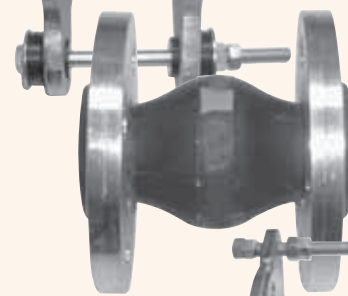


Рис. 2.1.13: Металлические сифонные компенсаторы без стяжных шпилек

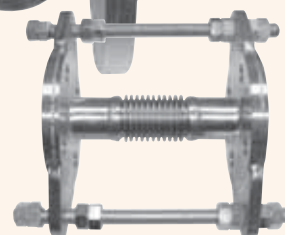


Рис. 2.1.14: Металлические сифонные компенсаторы со стяжными шпильками



Рис. 2.1.15: Уровень звукового давления в зависимости от частоты звуковых колебаний

Раздел 2.1

Монтаж насоса

Как правило, шум представляет собой сложный звук, представленный спектром. Оценить шум со сложным спектром одним числом можно с помощью стандартной частотной характеристики А, приближающаяся к частотной характеристике чувствительности человеческого уха. Корректированный по шкале А уровень звука измеряется в дБ(А). Иногда встречаются обозначения дБА и дВ(А).

Уровень звука от нескольких источников рассчитывается следующим образом:

$$L_{p \text{ суммарн.}} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} \right)$$

Пример:

Уровень звука источника №1: $L_{p1} = 45 \text{ дБ(А)}$

Уровень звука источника №2: $L_{p2} = 50 \text{ дБ(А)}$

$$L_{p \text{ суммарн.}} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{45}{10}} + 10^{\frac{50}{10}} \right) = 51,19$$

Суммарный уровень звука составляет 51,19 дБ(А)

Уровень звука в зависимости от частоты вращения

Уровень звука от вентилятора электродвигателя увеличивается с частотой вращения его вала.

$$\Delta L_p = 50 \cdot \log (n2/n1) \text{ дБ(А)}$$

ΔL_p — изменение уровня звука, вызванное изменением частоты вращения, дБ(А)

$n1$ — исходная (номинальная) частота вращения вала электродвигателя, об/мин

$n2$ — новая частота вращения вала электродвигателя, об/мин

Из формулы легко видеть, что при использовании насосов с частотнорегулируемыми электродвигателями уровень звука уменьшается, поскольку насосы почти всегда работают с частотой вращения ниже номинальной.

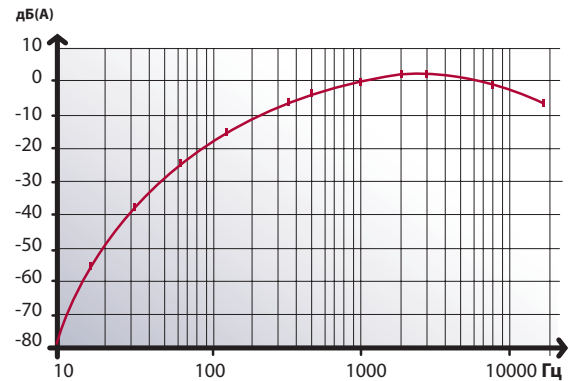


Рис. 2.1.16: Диаграмма частотной характеристики А



При эксплуатации насосного оборудования необходимо обращать внимание не только на его состояние (шум, вибрации, износ), но и контролировать рабочие параметры. Среди этих параметров можно выделить гидравлические, электрические и механические. Часть параметров, например качество рабочей жидкости, относится не только к насосу, но и к системе в целом. Таким образом, рассматривать насос отдельно от системы нельзя.

2.2.1. Гидравлические параметры

Гидравлические параметры насоса должны соответствовать рабочим режимам системы. Именно эти параметры определяют типоразмер насоса.

Расход

Расходом называется количество жидкости, проходящее через насос за фиксированный промежуток времени. Обычно используют понятия: объемный расход и массовый расход.

Объемный расход (Q)

Объемный расход, измеряемый в $\text{м}^3/\text{с}$, характеризует объем жидкости, проходящей через насос в единицу времени. Этим понятием пользуются, когда плотность перекачиваемой жидкости мало меняется от температуры, или температура жидкости не влияет на функции системы. Примером таких систем являются системы водоснабжения.

Массовый расход (Q_m)

Массовый расход — это масса жидкости, проходящей через насос в единицу времени, измеряется в $\text{кг}/\text{с}$. Массовый расход, как видно из названия, учитывает плотность жидкости. Понятие «массовый расход» широко применяется в теплотехнике и гидрогазодинамике. В гидравлических системах массовым расходом пользуются при расчете систем отопления, кондиционирования и т.п.

$$Q_m = \rho \cdot Q ; Q = \frac{Q_m}{\rho}$$

Примеры	Единица измерения	Вода	
		20°C	120°C
Объемный расход Q	$\text{м}^3/\text{ч}$	10	
Плотность	$\text{кг}/\text{м}^3$	998	943
Весовой расход Q_m	$\text{кг}/\text{ч}$	9980	9403
	$\text{кг}/\text{сек}$	2,77	2,62

Рис. 2.2.1: Примеры расчета

Давление (p)

Давление характеризует энергию, которую имеет жидкость. Подобно классификации видов энергии, различают статическое (потенциальная энергия) и динамическое (кинетическая энергия) давления. Сумма этих давлений дает полное давление (энергию) жидкости:

$$p_{\text{общ}} = p_{\text{ст}} + p_{\text{дин}}$$

Статическое давление

Статическое давление может быть измерено с помощью пьезометра, см. рис. 2.2.2.

Динамическое давление

Динамическое и полное давление могут быть измерены с помощью трубки Пито (трубка полного напора). Динамическое давление рассчитывается по следующей формуле:

$$p_{\text{дин}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2, \text{ где}$$

ρ — плотность жидкости в кг/м³,

v — скорость жидкости в м/с

Согласно закону сохранения энергии, динамическое давление преобразуется в статическое путем снижения скорости потока, и наоборот. На рис. 2.2.3 показана часть системы, где диаметр трубы увеличен с D_1 до D_2 , при этом скорость жидкости снизилась с v_1 до v_2 . Предполагая, что в системе нет потерь на трение, сумма статического и динамического давлений будет постоянной по всей трубе.

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

Таким образом, увеличение диаметра трубы, как показано на рис. 2.2.3, ведет к увеличению статического напора p_2 , измеряемого манометром.

Во многих гидравлических системах динамическое давление $p_{\text{дин}}$ незначительно по сравнению со статическим. Например, при скорости движения потока воды 4,5 м/с динамическое давление будет около 0,1 бар. Позже в этой главе мы будем рассматривать связь между динамическим давлением и напором насоса.

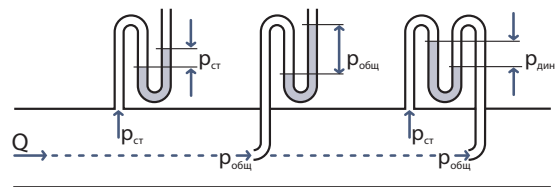


Рис. 2.2.2: Определение статического давления $p_{\text{ст}}$, динамического давления $p_{\text{дин}}$ и общего давления $p_{\text{общ}}$

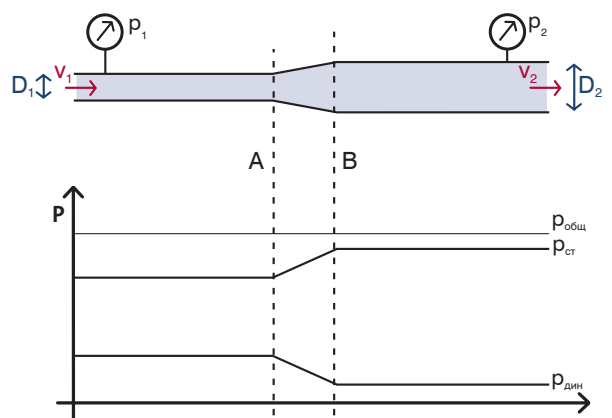


Рис. 2.2.3: Статическое давление увеличивается при снижении скорости жидкости. Данная схема применима для систем с незначительными потерями на трение.



Единицы измерения давления

Давление измеряется в паскалях (Па) [Н/м²], барах (бар) [105 Па] или в PSI [lb/in²] — фунт-сила на квадратный дюйм). Когда мы имеем дело с давлением, очень важно знать, в каких единицах давление измеряется. При измерении давления необходимо учитывать два его основных типа: абсолютное давление и барометрическое давление.

Абсолютное давление ($p_{\text{абс}}$)

Абсолютное давление отсчитывается от абсолютного нуля. Например, атмосферное давление 760 мм рт. ст. является абсолютным. При расчете большинства наземных систем давление атмосферы не учитывается, и нулем считается нормальное атмосферное давление. В таких случаях используют понятие барометрическое (избыточное) давление. Вакуум — это давление, которое ниже атмосферного давления, но выше абсолютного нуля.

Барометрическое (избыточное) давление

Барометрическое (избыточное) давление — это давление, которое выше нормального атмосферного давления (1 атм). Обычно давление p называется барометрическим давлением, потому что большинство датчиков и приборов для измерения давления измеряют разницу между давлением в системе и атмосферным давлением. В этой книге термин «давление» обозначает барометрическое давление.

Напор (H)

Напор насоса — это величина, характеризующая приращение энергии, которое получает жидкость проходя через насос. Напор принято выражать в метрах столба жидкости. Согласно принципу действия центробежного насоса, его напор не зависит от рода жидкости. Однако высота столба жидкостей разной плотности, прошедших через один и тот же насос, будет различной, см. рис. 2.2.5. Напор измеряется в метрах (м) и не зависит от плотности жидкости. Следующая формула определяет зависимость между давлением (p) и напором (H):

$$H = \frac{p}{\rho \cdot g},$$

где:

H — напор в м;

p — давление в Па= Н/м²;

ρ — плотность жидкости в кг/м³;

g — ускорение свободного падения в м/с²

Таблица перевода единиц измерения давления						
	Па	Бар	Стандартная атмосфера, атм*	Теоретическая атмосфера, атм**	Метры водяного столба, м H ₂ O	Мм ртутного столба
1 Па=1Н/м²	1	105	9,87•10 ⁻⁴	1,02•10 ⁻⁵	1,02•10 ⁻⁴	750•10 ⁻⁵
1 бар	105	1	0,987	1,02	10,2	750
1 атм	1,013•5	1,013	1	1,013	10,33	760
1 ат=1кр/см²	0,981•5	0,981	0,968	1	10	736
1 м H ₂ O	0,981•104	0,0981	0,0968	0,1	1	73,6

Рис. 2.2.4: Таблица перевода единиц измерения давления

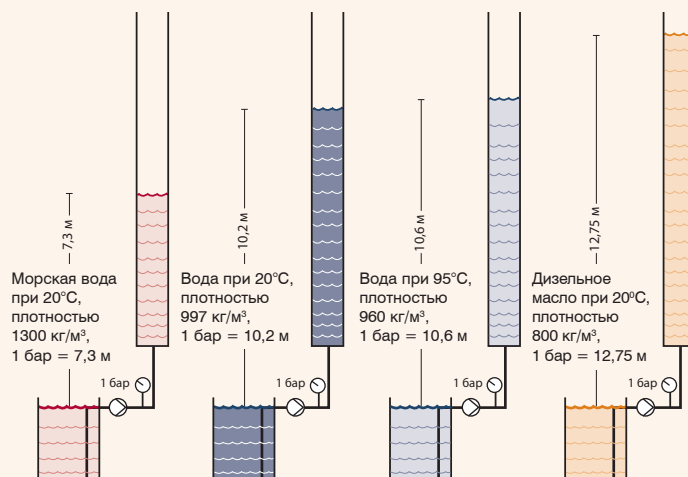


Рис. 2.2.5: При перекачивании четырех различных жидкостей одним и тем же насосом высоты их столбов будут различными

Раздел 2.2

Рабочие характеристики насоса

Как определить напор

Напор насоса определяется исходя из значений давлений во всасывающем и напорном патрубках p_1 и p_2 , см. рис. 2.2.6. Если имеется перепад высот между двумя точками измерения, как видно из рис. 2.2.6, необходимо компенсировать эту разницу. Более того, при наличии разницы диаметров всасывающего и напорного патрубков, фактический напор также должен быть скорректирован с учетом этой разницы.

Фактический напор насоса рассчитывается по следующей формуле:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + (h_2 - h_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g},$$

где:

H — фактический напор насоса в м;

p — давление на фланцах в Па = Н/м²;

ρ — плотность жидкости в кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

h — геодезическая высота в м;

v — скорость жидкости в м/с;

Скорость жидкости рассчитывается по следующей формуле:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

где:

v — скорость в м/с

Q — объемный расход в м³/с

D — диаметр патрубка в м

При объединении этих двух формул становится видно, что величина напора зависит от следующих факторов: значений давлений p_1 и p_2 , геодезической разницы высот между всасывающим и напорным патрубками ($h_2 - h_1$), расхода насоса Q и диаметров патрубков.

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + (h_2 - h_1) + \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{1}{D_2^4} - \frac{1}{D_1^4} \right)$$

Разница диаметров напорного и всасывающего патрубков влияет на напор насоса, поправку можно вычислить по формуле или воспользовавшись номограммами в приложении F.

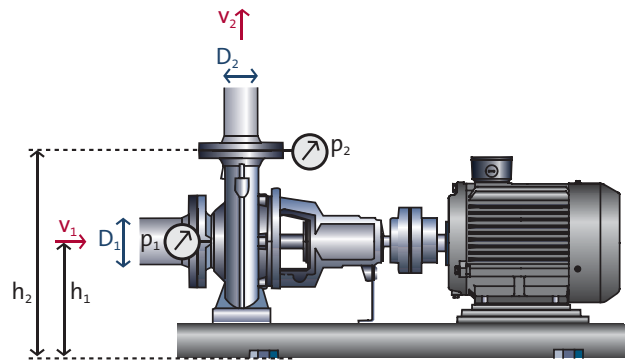


Рис. 2.2.6: Стандартный насос с односторонним всасыванием, имеющий разные диаметры всасывающего и напорного патрубков.



Пример расчета

Насос, такой же, как представлен на рис. 2.2.7, установлен в системе со следующими параметрами:

$$Q = 240 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$p_1 = 0,5 \text{ бар}$$

$$p_2 = 1,1 \text{ бар}$$

Перекачиваемая жидкость: вода при 20°C

Диаметр всасывающего патрубка $D_1 = 150 \text{ мм}$

Диаметр напорного патрубка $D_2 = 125 \text{ мм}$.

Разница высот между двумя патрубками, где установлен манометр ($h_2 - h_1$), = 355 мм.

Теперь по этим данным мы можем рассчитать высоту напора насоса:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + (h_2 - h_1) + \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{1}{D_2^4} - \frac{1}{D_1^4} \right)$$

$$H = \frac{1,1 \cdot 10^5 - 0,5 \cdot 10^5}{998 \cdot 9,81} + (0,355) + \frac{8 \cdot \left(\frac{240}{3600} \right)^2}{9,81 \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{1}{0,125^4} - \frac{1}{0,150^4} \right)$$

$$H = 6,13 + 0,36 + 0,77 = 7,26 \text{ м}$$

Как видно из расчета, перепад давлений, замеренный манометром, примерно на 1,1 м ниже фактического значения. Объясняется это следующим. Во-первых, это отклонение является причиной имеющейся разницы высот между установленными манометрами (0,36 м) и, во вторых, это обусловлено разницей диаметров двух патрубков, в этом случае 0,77 м.

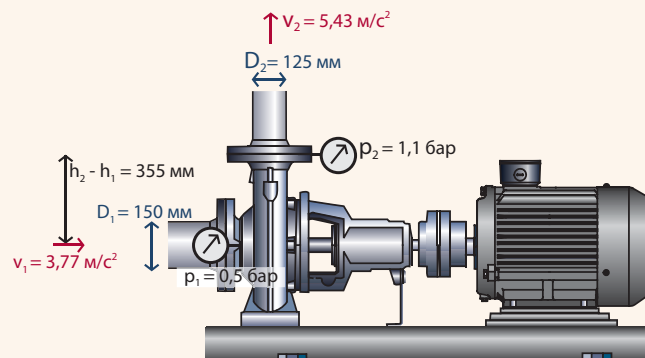


Рис. 2.2.7: Стандартный насос одностороннего всасывания, имеющий разные диаметры всасывающего и напорного патрубков.

Раздел 2.2

Рабочие характеристики насоса

Если манометры устанавливаются на одной и той же геодезической высоте или если разница давлений манометров используется для расчетов, нет необходимости производить корректировку на разницу высот ($h_2 - h_1$). У насосов «ин-лайн» входной и напорный патрубки находятся на одном и том же уровне и имеют один и тот же диаметр. Для таких типов насосов имеется упрощенная формула для определения величины напора:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g}$$

Перепад давлений (Δp)

Перепад давлений — это разница между давлениями, измеренными в двух точках системы.

Давление в системе

Давление в системе — это статическое давление при выключенном насосе. Статическое давление важно учитывать при работе с закрытыми системами. Давление в системе $H_{\text{стат}}$, выраженное в метрах, должно быть выше, чем ее геометрическая высота. Это гарантирует, что система заполнена жидкостью и из нее удален воздух.

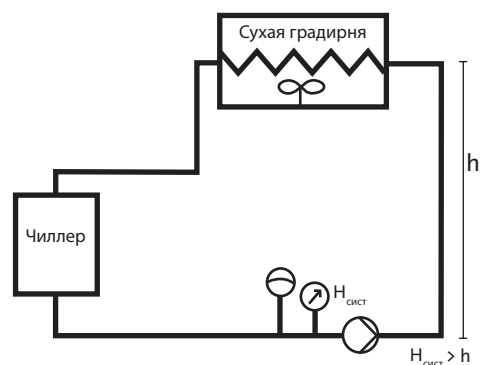


Рис. 2.2.8: Давление в системе $H_{\text{стат}}$ в закрытой системе должно быть выше, чем ее высота



Кавитация и NPSH

Кавитация появляется в том случае, если давление жидкости в насосе падает до давления ее насыщенных паров, см. рис. 2.2.9 и 2.2.10.

При падении давления на всасывающем патрубке насоса до давления насыщенных паров жидкости (рис. 2.2.10, желтая точка), из нее начинает выделяться растворенный газ. Образуются пузырьки. При последующем увеличении давления происходит мгновенное схлопывание пузырьков (см. рис. 2.2.10, красная точка), сопровождаемое выделением энергии. Поверхности рабочего колеса испытывают тепловое, электрохимическое и ударное воздействие, вследствие чего разрушаются. Степень повреждения при этом зависит от материала, из которых изготовлены колеса. Нержавеющая сталь более устойчива к кавитации, чем бронза, а бронза — более стойкая, чем чугун (см. раздел 1.6.3).

Развивающаяся кавитация вызывает срыв подачи насоса, см. рис. 2.2.11. Повреждения, вызванные кавитацией, зачастую обнаруживаются только после демонтажа насосной части.

Кавитационный расчет

Для проверки работоспособности насоса при риске возникновения в нем кавитации пользуются следующей формулой:

$$h_{\text{макс}} = H_b - H_f - \text{NPSH} - H_v - H_s$$

- $h_{\text{макс}}$ — максимально допустимая высота всасывания (если значение больше нуля) или необходимый подпор (если значение меньше нуля).
- H_b — атмосферное давление со стороны насоса; это максимальная теоретическая высота всасывания, см. рис. 2.2.13.
- H_f — потери давления на трение со стороны всасывания.
- NPSH — аналог понятия «кавитационный запас» (значение определяется по характеристике NPSH при максимальном расходе), см. рис. 2.2.12.
- H_v — давление насыщенных паров перекачиваемой жидкости при определенной температуре; более подробная информация о давлении насыщенных паров воды имеется в приложении D.
- H_s — запас надежности. Экспериментальная величина, обычно равная 0,5–1 м, а для жидкостей, содержащих газ, — до 2 м, см. рис. 2.2.15.



Рис. 2.2.9: Взрыв кавитационных пузырьков на задней стороне лопаток рабочего колеса

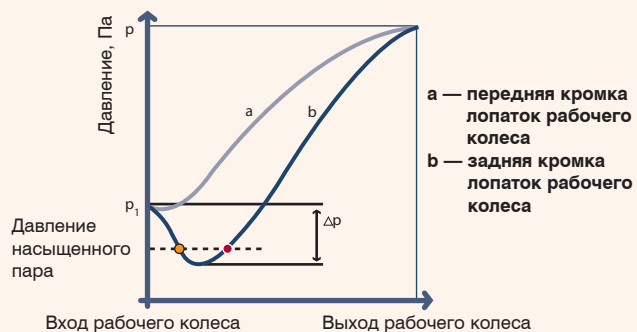


Рис. 2.2.10: Изменение давления в центробежном насосе

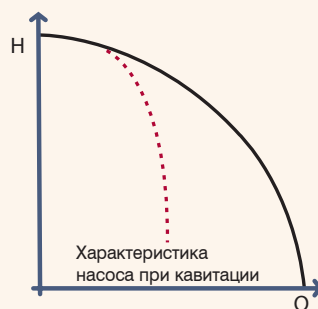


Рис. 2.2.11: Характеристика насоса при кавитации

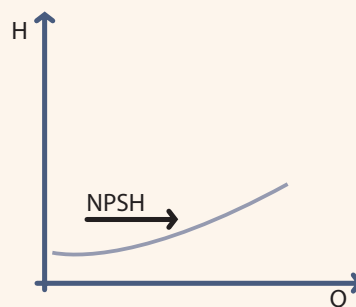


Рис. 2.2.12: NPSH характеристика

Раздел 2.2

Рабочие характеристики насоса

Параметр NPSH представляет собой минимальное абсолютное давление, при котором в насосе не возникает кавитация, т.е. он отражает «требования» насоса к системе, см. рис. 2.2.13.

Различают следующие понятия:
 $NPSH_T$ — значение NPSH, требуемое насосом
 $NPSH_\phi$ — значение NPSH, обеспечиваемое системой (абсолютное давление, которое существует на входе в насос в данной системе).

Кривую NPSH для насоса определяют на основании стандарта ISO 9906. Для этого, задавшись определенным расходом, измеряют перепад давления между напорным и всасывающим патрубком насоса, постепенно понижая давление на входе. Как только перепад давления уменьшится на 3%, измерения прекращают, а полученное значение NPSH заносят в таблицу. Составив таблицу для всего диапазона подач, получают характеристику NPSH.

2.2.2. Электрические параметры

Далее приводятся наиболее важные параметры, характеризующие работу электродвигателя насоса.

Высота над уровнем моря, м	Барометрическое давление P_b , бар	Барометрическое давление, выраженное в метрах водяного столба H_b , м	Точка кипения воды, °C
0	1,013	10,33	100
500	0,935	9,73	99
1000	0,899	9,16	93
2000	0,795	8,10	93

Рис. 2.2.13: Барометрическое давление относительно уровня моря

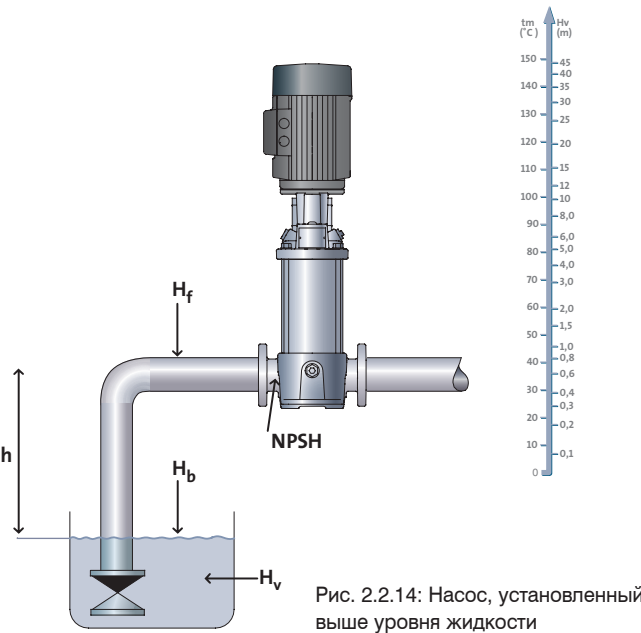


Рис. 2.2.14: Насос, установленный выше уровня жидкости



Рис. 2.2.15: Типичная характеристика NPSH для жидкостей, содержащих газ и жидкостей, из которых газ удален



Потребляемая мощность (P)

Принципиальная конструкция насоса показана на рис. 2.2.16. В соответствии с конструкцией насоса, поток мощности разделяют на несколько составляющих:

P_1 — мощность, потребляемая от электрической сети, или, другими словами, количество электроэнергии, за которую потребитель должен платить.

P_2 — мощность, потребляемая насосной частью, или мощность на валу электродвигателя.

P_H — гидравлическая мощность — мощность, определяемая потоком жидкости (зависит от Q и H).

Понятно, что $P_1 > P_2 > P_H$. Разница между мощностями — КПД того или иного узла насоса.

Единица измерения мощности — Ватт (Вт).

Для удобства подбора электродвигателей производители насосного оборудования указывают мощность на валу насосной части, т.е. P_2 .

КПД (η)

КПД (коэффициент полезного действия) для насосов обычно характеризует только насосную (гидравлическую) часть η_H . Гидравлический КПД определяется геометрией проточной части и шероховатостью ее поверхностей. Общий (полный) КПД насоса с электродвигателем рассчитывается по следующим формулам:

$$\eta_H = \frac{P_H}{P_2} \quad \eta_{эл} = \frac{P_2}{P_1} \quad \eta_{общ} = \eta_H \cdot \eta_{эл}$$

Если электродвигатель оснащен преобразователем частоты, общий КПД также будет включать в себя КПД преобразователя частоты:

$$\eta_{общ} = \eta_H \cdot \eta_{эл} \cdot \eta_{пч}$$

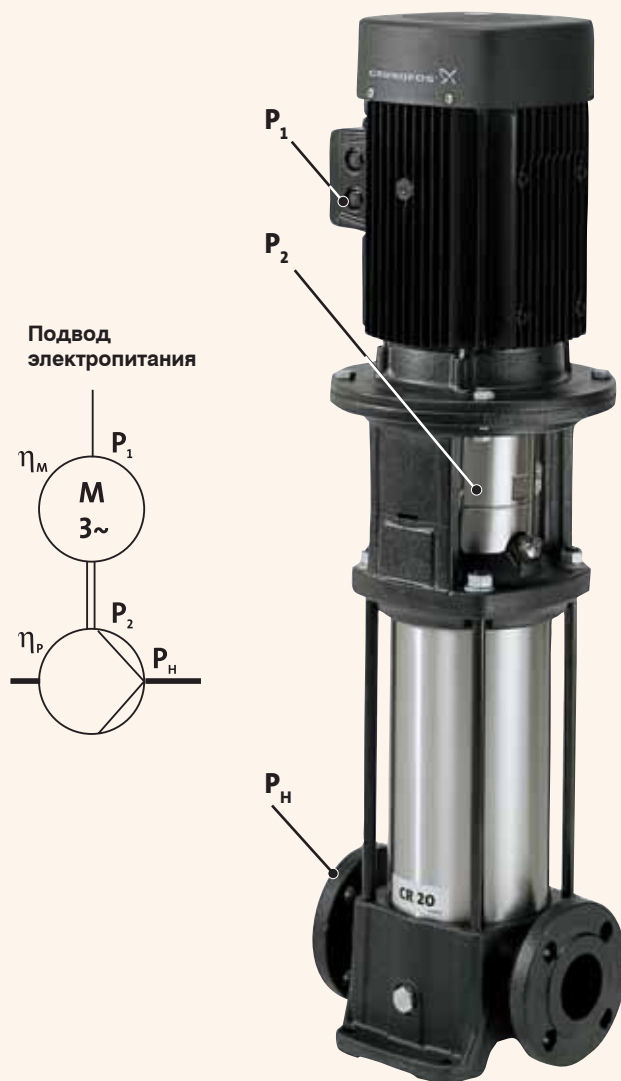


Рис. 2.2.16: Вертикальный центробежный насос



2.2.3. Свойства жидкости

При расчете гидравлических систем необходимо учитывать свойства жидкостей. Наиболее важными из них являются: температура жидкости, ее плотность и теплоемкость.

Температура жидкости (t, T)

Температура жидкости измеряется в °C (градусы по Цельсию), °K (градусы по Кельвину) или °F (градусы по Фаренгейту). °C и °K — фактически одни и те же единицы, но 0°C — это точка замерзания воды, а 0°K — это абсолютный ноль, который соответствует -273,15°C и является минимальной возможной температурой. Соотношением между температурой по шкале Фаренгейта и Цельсия является следующая формула: $^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \cdot 1,8 + 32$, таким образом, температура замерзания воды по шкале Фаренгейта составляет 32°, температура кипения воды — 212°.

Плотность жидкости (ρ)

Плотностью жидкости называется масса жидкости, заключенная в единице объема. Плотность жидкости измеряется в кг/м³ или кг/дм³.

Теплоемкость жидкости (C_p)

Теплоемкость — это величина, показывающая, какое количество удельной энергии можно сообщить жидкости при ее нагреве. Теплоемкость жидкости зависит от ее температуры, см. рис. 2.2.18. Это свойство жидкости используется в системах обмена энергии, например, в системах отопления, охлаждения и кондиционирования. Смеси жидкостей, такие как гликоль и вода, для систем кондиционирования имеют меньшую теплоемкость, чем чистая вода, и поэтому для передачи одного и того же количества энергии потребуется большее количество жидкости, т.е. больший расход.

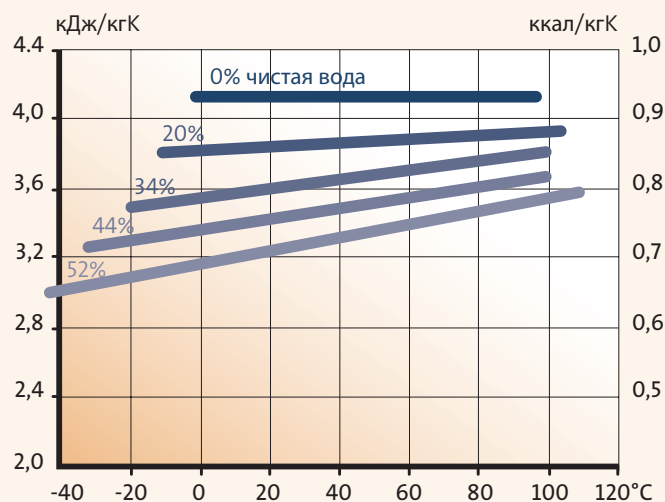


Рис. 2.2.18: Удельная теплоемкость для растворов этиленгликоля

Раздел 3.1. Характеристики системы

3.1.1. Сопротивления отдельных компонентов системы

3.1.2. Открытые и закрытые системы

Раздел 3.2. Совместная работа нескольких насосов

3.2.1. Насосы, установленные параллельно

3.2.2. Насосы, установленные последовательно



Раздел 3.1

Характеристики системы

Ранее, в разделе 1.1.2, мы рассматривали основные характеристики насоса. В этой главе мы рассмотрим совместную характеристику системы (трубопровода) и характеристику насоса.

Характеристика системы представляет собой зависимость ее гидравлического сопротивления от расхода. Характеристика системы зависит от ее типа. Различают два типа систем: закрытые и открытые.

• Закрытые системы

Это системы, количество жидкости в которых остается постоянным. Наиболее типичным примером закрытой системы является система отопления. В закрытых системах насос необходим для преодоления гидравлического сопротивления ее составляющих (трубопроводы, запорно-регулирующая арматура).

• Открытые системы

Это системы, транспортирующие жидкость из одной точки в другую, подобные системам водоснабжения. В таких системах насос обеспечивает необходимое давление в точке водоразбора и преодолевает потери на трение в трубопроводе и других компонентах системы.

Если начертить характеристику системы и характеристику насоса в одной и той же системе координат, точка пересечения этих характеристик будет называться рабочей точкой, см. рис. 3.1.1.

Гидравлическое сопротивление системы является суммой сопротивлений отдельных компонентов системы. Далее мы рассмотрим примеры этих сопротивлений.

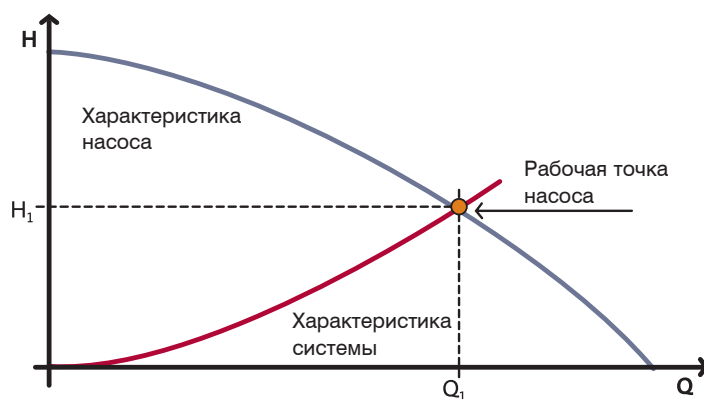


Рис. 3.1.1: Точка пересечения характеристики системы и характеристики насоса является рабочей точкой насоса



3.1.1. Сопротивления отдельных компонентов системы

Каждый отдельный компонент системы оказывает сопротивление потоку жидкости, что сказывается в дальнейшем на потерях напора. Потери напора на каждом участке системы рассчитываются по формуле:

$$\Delta H = k \cdot Q^2$$

где k — является постоянной величиной, зависящей от вида компонента системы, Q — это расход жидкости, проходящей через этот компонент. Как видно из формулы, потери в напоре прямо пропорциональны квадрату расхода жидкости. Таким образом, при снижении расхода жидкости в системе происходит существенное снижение потерь давления.

Сопротивления, соединенные последовательно

Полная потеря напора в системе, содержащей несколько компонентов, соединенных последовательно, состоит из суммы потерь напора каждого компонента в отдельности. На рис. 3.1.2 представлена система, содержащая клапан и теплообменник. Если мы исключим потери напора в трубопроводе между этими двумя компонентами, полная потеря напора в этой системе $\Delta H_{\text{сум}}$ будет равна сумме потерь в каждом компоненте:

$$\Delta H_{\text{сум}} = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

Более того, на рис. 3.1.2 показано, как будет при этом выглядеть результирующая характеристика и где будет рабочая точка, если система является закрытой только с этими двумя компонентами. Как видно из рисунка, результирующая характеристика определяется путем добавления отдельных потерь напора ΔH при данном расходе. Также можно видеть, что чем больше сопротивлений в системе, тем круче будет ее характеристика.

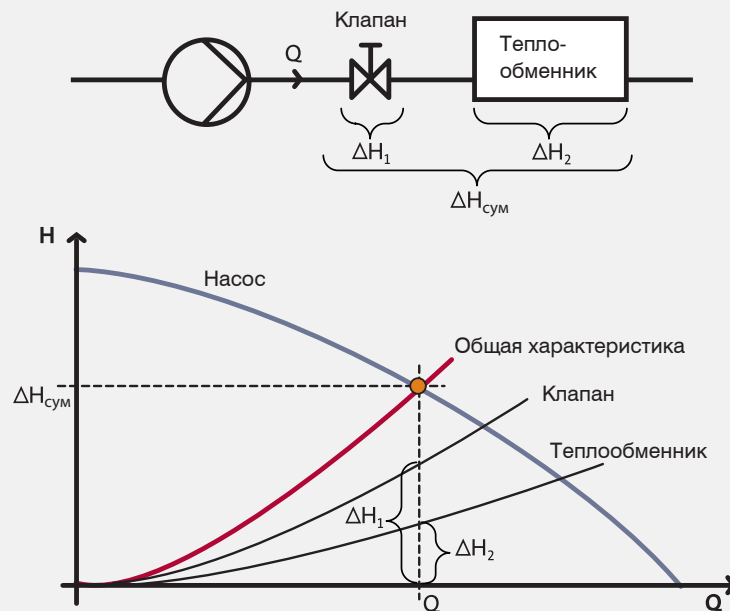


Рис. 3.1.2: Потери напора для двух компонентов системы, соединенных последовательно

Сопротивления, соединенные параллельно

В противоположность последовательному соединению, параллельное соединение компонентов дает более пологую характеристику системы. Причиной является то, что компоненты, установленные параллельно, уменьшают полное сопротивление системы и, следовательно, потери напора.

Перепад давлений между компонентами, соединенными параллельно, всегда одинаков. Результирующая характеристика системы определяется добавлением к конкретной величине потери напора ΔH расхода в каждом компоненте системы. На рис. 3.1.3 показана система, содержащая клапан и теплообменник, соединенные параллельно.

Общий расход при потере напора ΔH рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2$$

3.1.2. Закрытые и открытые системы

Как было сказано выше, насосные системы делятся на два основных типа: закрытые и открытые. В этом разделе мы изучим основные характеристики этих систем

Закрытые системы

Закрытыми обычно являются системы, передающие тепловую энергию в системах отопления, кондиционирования и охлаждения. Объединяет эти системы то, что циркулирующая в них жидкость — это носитель тепловой энергии.

Закрытая система характеризуется тем, что насосы должны преодолевать суммарные потери на трение во всех ее частях. На рис. 3.1.4 показана схема закрытой системы, в которой насос обеспечивает циркуляцию воды от нагревателя через регулировочный клапан к теплообменнику.

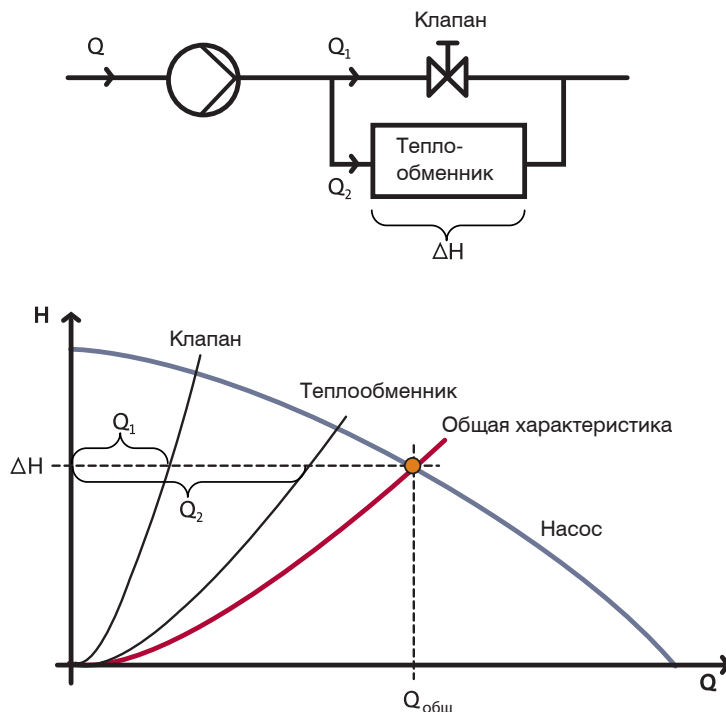


Рис. 3.1.3: Компоненты, соединенные параллельно, снижают сопротивление системы, что делает ее характеристику более полой.

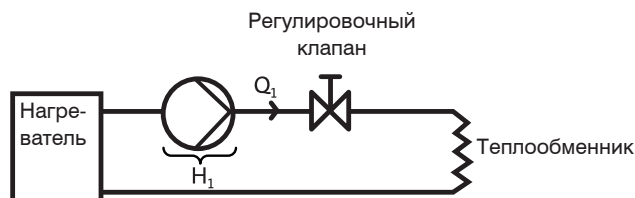


Рис. 3.1.4: Схема закрытой системы.



Все эти компоненты, включая трубопровод и фитинги, определяют характеристику системы, представленную на рис. 3.1.5. Характеристикой системы, которая определяет требуемое значение напора, является парабола, с начальными координатами $(Q, H) = (0, 0)$, и описывается следующей формулой:

$$H = k \cdot Q^2$$

Как видно из этой зависимости, потери давления стремятся к нулю при падении расхода.

Открытые системы

Открытые системы — это такие системы, в которых насос используется для транспортировки жидкости от одной точки к другой, например, системы водоснабжения, оросительные системы, системы технологических процессов. В таких системах насос должен обеспечивать геодезический напор жидкости и компенсировать потери на трение в трубопроводе и других компонентах системы.

Мы различаем два типа открытых систем:

- открытые системы с насосом, расположенным ниже точки водоразбора
- открытые системы с насосом, расположенным выше точки водоразбора

Открытые системы с насосом, расположенным ниже точки водоразбора

На рис. 3.1.6 представлена типичная открытая система с насосом, расположенным ниже точки водоразбора. Насос должен подавать воду из резервуара, находящегося на уровне земли, в емкость, расположенную на крыше здания. Прежде всего, насос должен обеспечить напор больший, чем высота здания (h). Во-вторых, насос должен компенсировать потери напора на трение в трубопроводе, фитингах, клапанах и т.д. (H_f). Потери напора зависят от расхода, см. рис. 3.1.7.

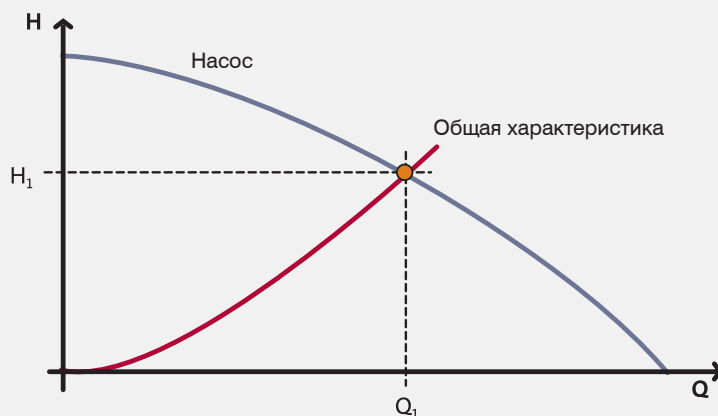


Рис. 3.1.5: Характеристикой закрытой системы является парабола, с начальными координатами $(0,0)$

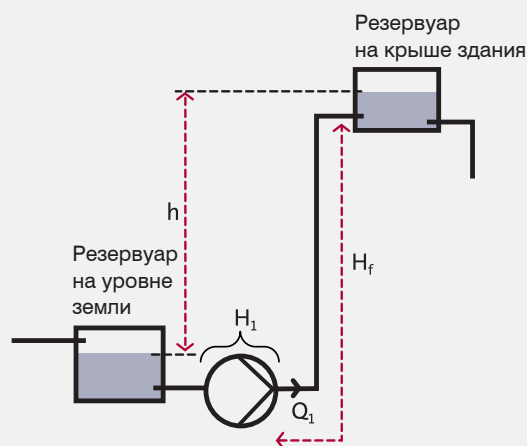


Рис. 3.1.6: Открытая система с насосом, расположенным ниже точки водоразбора

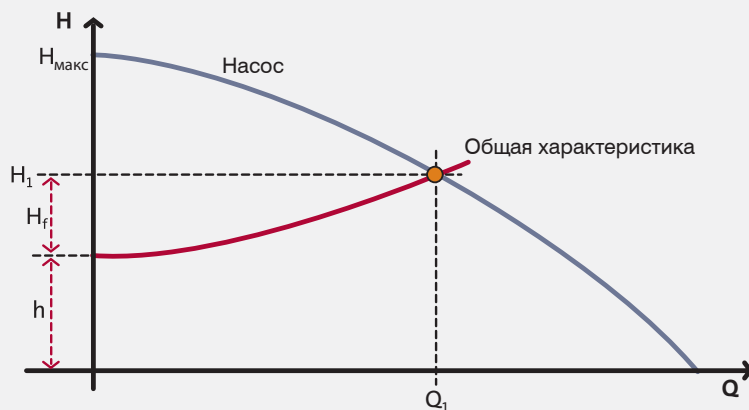


Рис. 3.1.7: Характеристика системы и характеристика насоса для открытой системы, изображенной на рис. 3.1.6

Раздел 3.1

Характеристики системы

Из рисунка видно, что в открытой системе не будет расхода воды, если максимальный напор ($H_{\text{макс}}$) насоса ниже, чем высота подъема (h). Только когда $H > h$, вода начнет подаваться из нижнего резервуара в тот, который находится выше. Также из характеристики системы видно, что чем ниже расход жидкости, тем ниже потери на трение (H_f), и, следовательно, ниже потребляемая мощность насоса.

Основное правило для систем водоснабжения: увеличение расхода в системе ведет к увеличению потерь напора, и наоборот — снижение расхода приводит к снижению потерь напора и, следовательно, к снижению энергопотребления.

Открытые системы с насосом, расположенным выше точки водоразбора

Типичным примером открытой системы с насосом, расположенным выше точки водоразбора, является система повышения давления, например при водоснабжении здания. Вода, под влиянием перепада высот (h), доставляется потребителю — вода движется без насоса. Разница в высоте между уровнем жидкости в резервуаре и высотой точки водоразбора (h) обеспечивает расход, равный Q_0 . Несмотря на это, величина напора является недостаточной для обеспечения потребного расхода (Q_1) потребителю. Поэтому насос должен обеспечивать напор на уровне H_1 , чтобы компенсировать потери на трение (H_f) в системе. Схема такой системы показана на рис. 3.1.8, а характеристики насоса и системы — на рис. 3.1.9.

Характеристикой такой системы является парабола, с начальными координатами в точке $(0, -h)$.

Расход системы зависит от уровня жидкости в резервуаре. При понижении уровня воды высота h уменьшается. Это ведет к изменению характеристики системы и понижает ее расход, см. рис. 3.1.9.

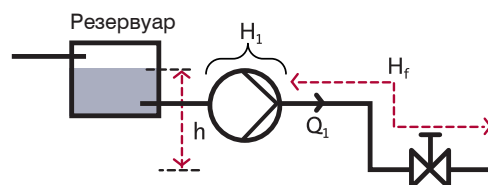


Рис. 3.1.8: Открытая система с насосом, расположенным выше точки водоразбора

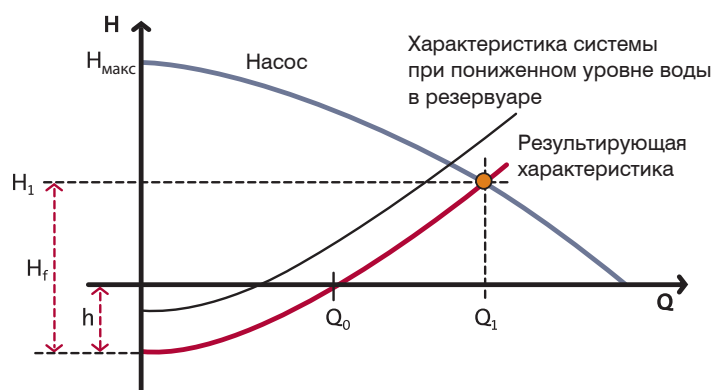


Рис. 3.1.9: Характеристика системы и характеристика насоса для открытой системы, представленной на рис. 3.1.8

Раздел 3.2

Совместная работа нескольких насосов



Помимо характеристик насоса, на результат работы системы влияет способ установки насосов: последовательный или параллельный. В этом разделе мы сконцентрируем внимание на этих двух вариантах подключения насосов.

3.2.1 Насосы, установленные параллельно

Такая установка насосов производится, когда

- потребный расход выше, чем может обеспечить каждый насос в отдельности
- система — с переменным расходом, и обеспечение текущего потребного расхода выполняется путем отключения/включения параллельно соединенных насосов.

Обычно таким способом соединяются насосы одинаковые по типу и типоразмеру. Однако они могут и отличаться по типоразмеру, а также один или несколько насосов могут быть регулируемы и, таким образом, работать с различными рабочими характеристиками.

Во избежание обратной циркуляции в неработающих насосах, последовательно с каждым насосом устанавливается обратный клапан. Общая характеристика системы, включающая в себя несколько насосов, соединенных параллельно, будет определяться путем добавления расхода, который обеспечивает каждый насос при конкретном напоре.

На рис. 3.2.1 показана система с двумя одинаковыми насосами, соединенными параллельно. Общая характеристика системы определяется сложением расходов Q_1 и Q_2 для каждого значения напора, который одинаков для обоих насосов, $H_1 = H_2$.

Так как насосы одинаковы, результирующая характеристика насоса имеет то же самое максимальное значение напора $H_{\text{макс}}$, но максимальный расход $Q_{\text{макс}}$ — увеличивается в два раза. При каждом значении напора в такой системе расход в два раза больше, чем у каждого отдельно работающего насоса:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 2 \cdot Q_1 = 2 \cdot Q_2$$

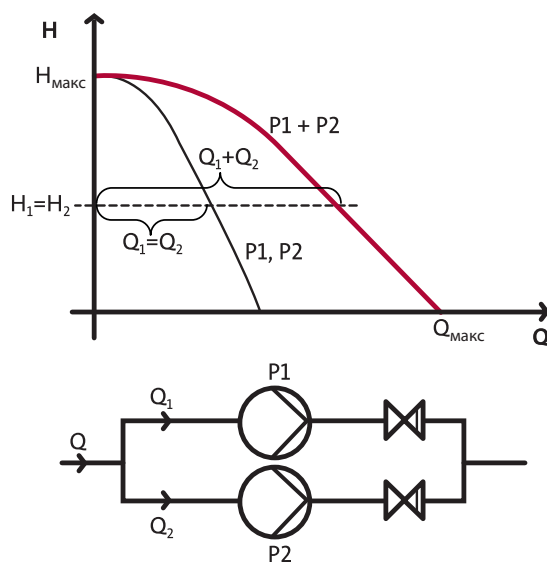


Рис. 3.2.1: Два насоса с одинаковыми характеристиками, соединенные параллельно

Раздел 3.2

Совместная работа нескольких насосов

На рис. 3.2.2 представлены два различных по своей мощности насоса, соединенные параллельно. При напоре $H_1 = H_2$ и сумме расходов каждого насоса Q_1 и Q_2 определяется общая характеристика этой системы. Выделенный участок между кривыми на рис. 3.2.2 показывает, что в этой зоне будет работать только насос P1, так как у него более высокий напор, чем у насоса P2.

Регулируемые насосы, соединенные параллельно

Комбинация соединенных параллельно нерегулируемых и частотнорегулируемых насосов является оптимальным путем для достижения эффективной работы насосов при необходимости регулирования расхода. Этот способ широко используется в системах водоснабжения и повышения давления. Позже, в главе 4 будут более подробно рассмотрены частотнорегулируемые насосы.

Насосные системы, включающие в себя два частотнорегулируемых насоса с одинаковой характеристикой, обеспечивают широкий диапазон рабочих параметров, см. рис. 3.2.3.

Один насос способен обеспечить требуемые рабочие параметры до значения Q_1 . При значениях расхода больше Q_1 в работу должен включаться второй насос. Характеристики частотнорегулируемых насосов, работающих с уменьшенной скоростью вращения, выделены оранжевым цветом на рис. 3.2.3.

Заметьте, что рабочая точка в значении Q_1 определена при работе одного из насосов на полной скорости. Но эта рабочая точка также может быть достигнута при работе двух насосов с меньшей скоростью. Эта ситуация представлена на рис. 3.2.4 (оранжевые кривые). Теперь проанализируем характеристики КПД. Рабочая точка одного насоса, работающего в широком диапазоне подач, не может находиться в зоне оптимального КПД. При работе двух насосов с пониженной скоростью общий КПД намного выше, хотя при постепенном снижении скорости максимальный КПД уменьшается.

Даже если требуемый расход и напор может обеспечить один насос, для более эффективной работы бывает необходимо использование двух насосов, чтобы таким образом уменьшить энергопотребление. Вопрос об использовании одного или двух насосов зависит от фактической характеристики системы и от типа насоса.

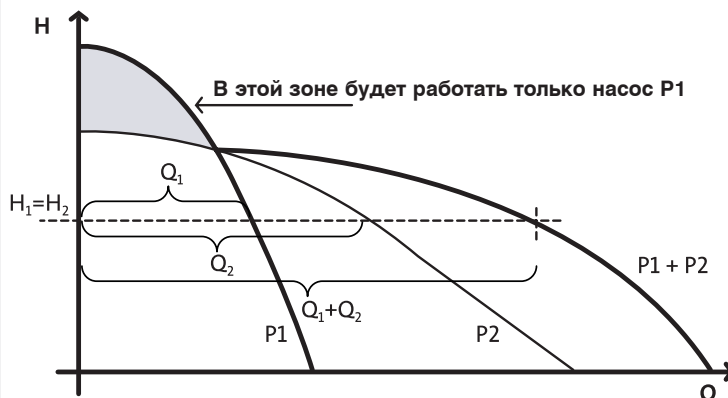


Рис. 3.2.2: Два насоса с разными рабочими характеристиками, соединенные параллельно

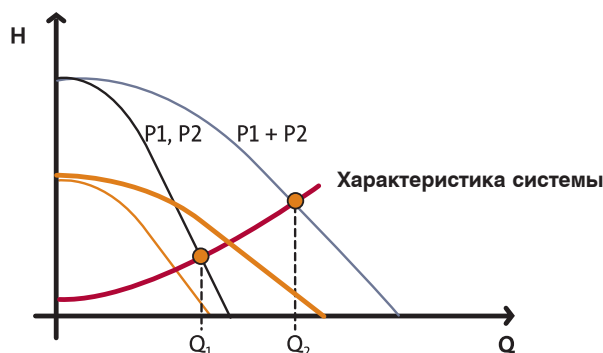


Рис. 3.2.3: Два частотнорегулируемых насоса, соединенных параллельно (один типоразмер). Оранжевая кривая описывает характеристику при пониженной скорости

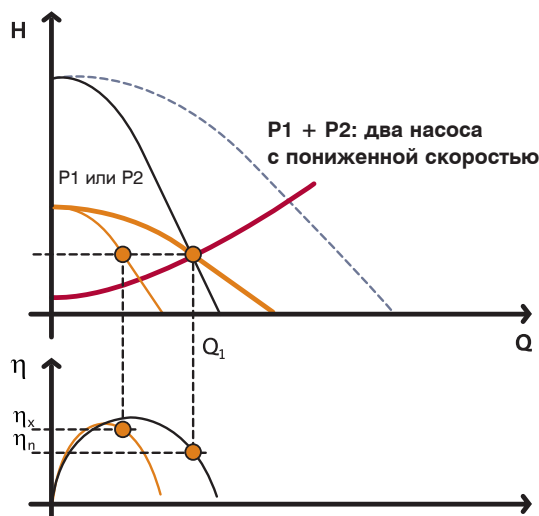


Рис. 3.2.4: Сравнение характеристик одного насоса на полной скорости с двумя насосами с пониженной скоростью. В этом случае два насоса имеют наивысший КПД



3.2.2. Насосы, установленные последовательно

Обычно последовательно соединенные насосы используются в системах, где требуется высокое давление. Также в таких случаях применяются многоступенчатые насосы, устроенные по принципу последовательности соединения, т.е. одна ступень равнозначна одному насосу. На рис. 3.2.5 представлена характеристика двух одинаковых насосов, соединенных последовательно. Результирующая характеристика получена путем сложения напоров каждого из насосов при одном и том же расходе.

На рис. 3.2.6 представлены два разных по мощности насоса, соединенных последовательно. Выделенный участок на рис. 3.2.6 показывает, что только насос P2 может обеспечить работу на этом участке характеристики, так как он имеет большую производительность, чем насос P1.

Как было сказано в разделе 3.2.1, при установке могут использоваться как комбинации насосов с разной мощностью, так и один или несколько регулируемых насосов. Комбинации насосов с фиксированной и регулируемой скоростью, установленных последовательно, часто используются в системах, где требуется высокое постоянное давление. Насос с фиксированной скоростью поставляет жидкость к частотнорегулируемому насосу, работающему с датчиком давления РТ, см. рис. 3.2.7.

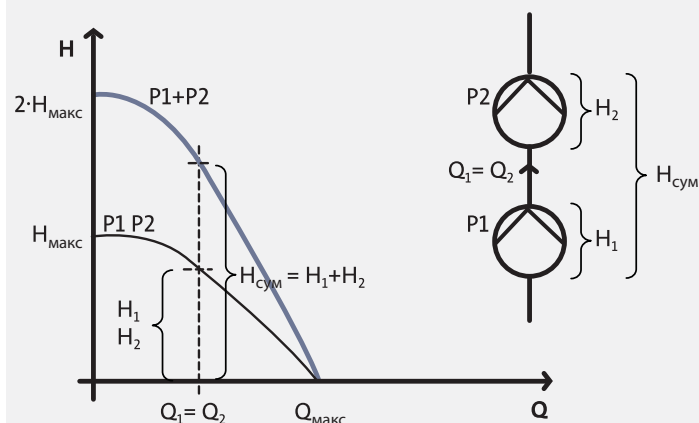


Рис. 3.2.5: Два одинаковых насоса, соединенных последовательно.

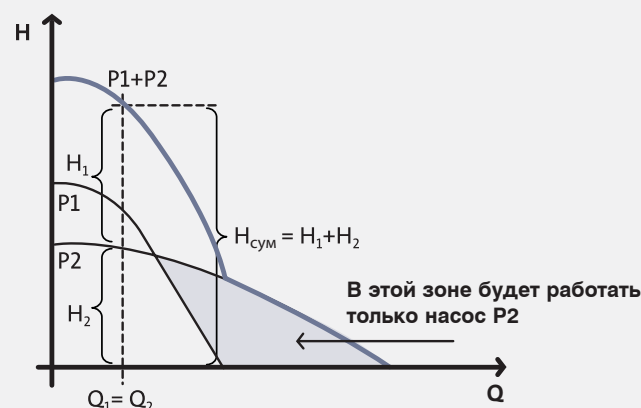


Рис. 3.2.6: Два разных по мощности насоса, соединенных последовательно

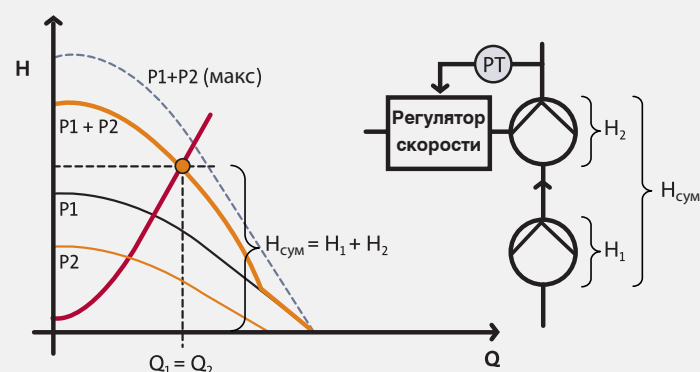


Рис. 3.2.7: Два одинаковых по мощности насоса, один из которых с фиксированной скоростью, а второй — частотнорегулируемый, установлены последовательно. Датчик давления вместе с регулятором скорости позволяет поддерживать постоянное давление на выходе насоса P2



Раздел 4.1. Регулирование рабочих параметров насоса

- 4.1.1. Дроссельное регулирование
- 4.1.2. Регулирование байпасом
- 4.1.3. Коррекция диаметра рабочего колеса
- 4.1.4. Регулирование скорости
- 4.1.5. Сравнение методов регулирования
- 4.1.6. Общий КПД насосной системы
- 4.1.7. Пример: Относительное потребление энергии при снижении расхода на 20%

Раздел 4.2. Методы регулирования

- 4.2.1. Регулирование по постоянному давлению
- 4.2.2. Регулирование по постоянной температуре
- 4.2.3. Регулирование по постоянному перепаду давления в циркуляционной системе
- 4.2.4. Пропорциональное регулирование напора (косвенное)

Раздел 4.3. Преимущества регулирования скорости насосов

Раздел 4.4. Преимущества насосов со встроенным преобразователем частоты

- 4.4.1. Рабочие характеристики регулируемых насосов
- 4.4.2. Регулируемые насосы в разных системах

Раздел 4.5. Преобразователь частоты

- 4.5.1. Основные функции и характеристики
- 4.5.2. Компоненты преобразователя частоты
- 4.5.3. Специальные условия, касающиеся преобразователей частоты

Раздел 4.1

Регулирование рабочих параметров насоса

При подборе насоса очень важно, чтобы рабочая точка находилась в зоне максимального КПД. В противном случае потребляемая мощность может быть необоснованно завышенной, см. рис. 4.1.1.

Кроме того, иногда нет необходимости выбирать насос, соответствующий оптимальной рабочей точке, так как требования системы постоянно меняются или с течением времени меняется характеристика системы.

Поэтому лучшим вариантом может быть регулирование параметров насоса таким образом, чтобы они обеспечивали эксплуатационные потребности системы.

Наиболее популярные методы изменения параметров насоса следующие:

- Дроссельное регулирование
- Регулирование байпасом
- Изменение диаметра рабочего колеса
- Регулирование скорости

Метод регулирования выбирается исходя из величины начальных инвестиций в оборудование и расходов на эксплуатацию. В течение срока службы системы можно опробовать все методы регулирования, кроме одного — коррекции диаметра рабочего колеса. Очень часто для системы используется переразмеренный насос, мощность которого намного выше требуемой, и, следовательно, необходимо ограничить его производительность — прежде всего расход, и в некоторых случаях — максимальный напор.

Далее мы рассмотрим подробнее эти четыре метода.

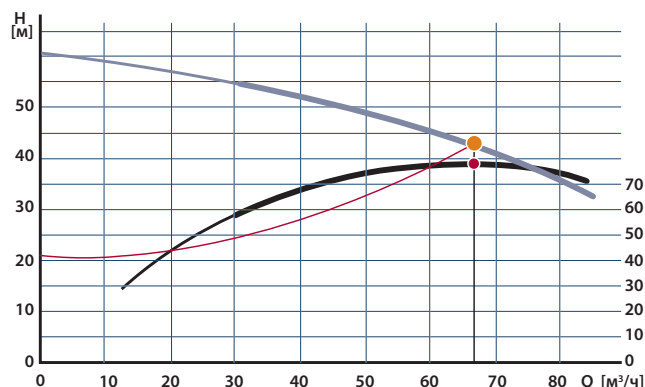


Рис. 4.1.1: При подборе насоса очень важно, чтобы рабочая точка находилась в зоне максимального КПД

4.1.1. Дроссельное регулирование

Задвижка устанавливается последовательно после насоса, позволяя регулировать рабочую точку. Она увеличивает сопротивление системы и снижает в ней расход. Без задвижки расход будет Q_2 . С задвижкой, установленной последовательно с насосом, расход понижается до значения Q_1 .

Задвижки могут использоваться для ограничения максимального расхода. Например, расход никогда не будет выше значения Q_3 , даже если характеристика системы будет абсолютно пологой, что означает отсутствие в системе какого-либо сопротивления. При регулировании параметров дроссельным методом насос будет обеспечивать более высокий напор, чем необходимо для данной системы.

$$H_H = H_C + H_3$$

При замене насоса с задвижкой на меньший насос, последний обеспечит желаемый расход Q_1 , но при более низком напоре и, следовательно, с меньшим энергопотреблением, см. рис.4.1.2.

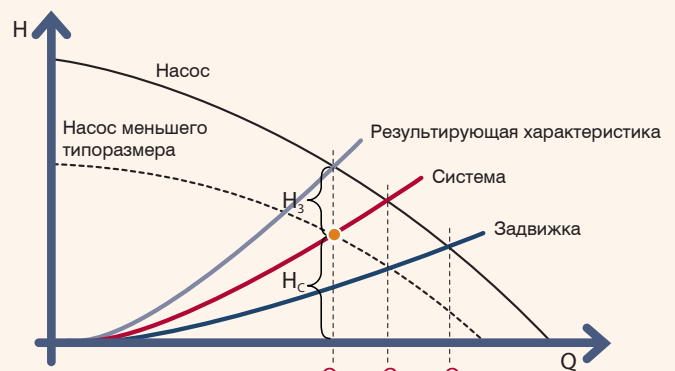
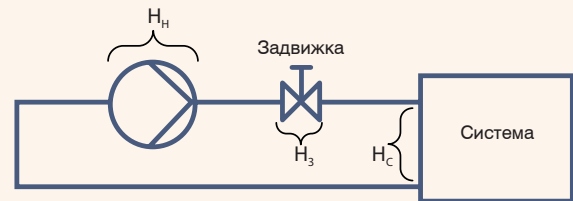


Рис. 4.1.2: Задвижка увеличивает сопротивление системы и снижает расход в ней

4.1.2. Регулирование байпасом

Задвижка байпасного (перепускного) трубопровода устанавливается параллельно с насосом и используется для регулирования его параметров, см. рис. 4.1.3.

По сравнению с обычной задвижкой, устанавливаемой за насосом, байпасирование обеспечит определенный минимальный расход $Q_{бп}$ насоса, независимо от характеристик системы. Расход насоса Q_H равен сумме расхода системы Q_C и расхода через байпасный трубопровод $Q_{бп}$.

$$Q_H = Q_C + Q_{бп}$$

Задвижка на байпасе будет обеспечивать максимально допустимый напор в системе $H_{макс}$, см. рис. 4.1.3. Даже если требуемое значение расхода в системе равно нулю, насос никогда не будет работать на закрытую задвижку. Как и в случае с дроссельным регулированием, требуемое значение расхода системы Q_C может быть обеспечено меньшим насосом и без перепуска; в результате расход через насос будет ниже и, следовательно, потребление электроэнергии тоже снизится.

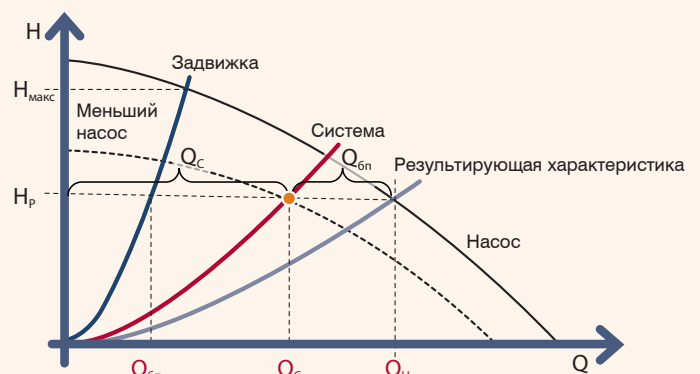
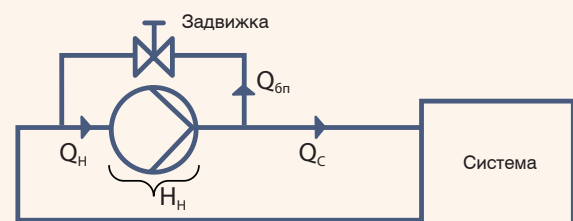


Рис. 4.1.3: Байпас берет на себя часть потока от насоса и, таким образом, снижает расход в системе

4.1.3. Коррекция диаметра рабочего колеса

Другим способом регулирования параметров центробежного насоса является коррекция диаметра рабочего колеса: при его уменьшении происходит снижение рабочих характеристик.

Очевидно, что уменьшение диаметра рабочего колеса не может быть произведено во время работы насоса. По сравнению с дроссельным и байпасным методами регулирования, которые можно проводить во время работы насоса, коррекция диаметра рабочего колеса должна быть выполнена до монтажа насоса или во время проведения ремонтных работ. Следующие формулы показывают связь между диаметром рабочего колеса и параметрами насоса:

$$\frac{Q_{H1}}{Q_{H2}} = \left(\frac{D_{H1}}{D_{H2}}\right)^2; \quad \frac{H_{H1}}{H_{H2}} = \left(\frac{D_{H1}}{D_{H2}}\right)^2; \quad \frac{P_{H1}}{P_{H2}} = \left(\frac{D_{H1}}{D_{H2}}\right)^4; \quad \frac{\eta_{H1}}{\eta_{H2}} = 1$$

Отметим, что эти формулы отражают работу идеального насоса. На практике, уменьшение диаметра рабочего колеса ведет к снижению эффективности работы насоса, т.е. к снижению его КПД. При незначительной коррекции диаметра $D_{H2} > 0,8 \cdot D_{H1}$, КПД уменьшится только на несколько процентов. Уровень снижения КПД зависит от типа насоса и его рабочей точки.

Как видно из формул, отношения изменения расхода и напора равны между собой и равны квадрату отношения диаметров рабочего колеса. Рабочие точки при этом располагаются на прямой, берущей свое начало в системе координат в точке (0, 0). Отношение потребляемых мощностей до и после коррекции равно отношению диаметров в четвертой степени.

4.1.4. Регулирование скорости

Последний способ регулирования — регулирование скорости. Регулирование скорости с помощью преобразователя частоты, вне всяких сомнений, является наиболее эффективным способом регулирования характеристик насоса.

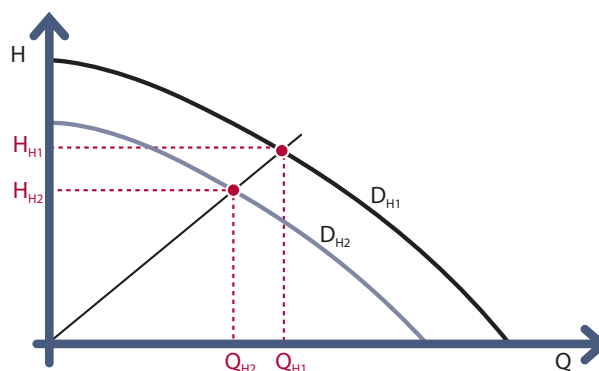
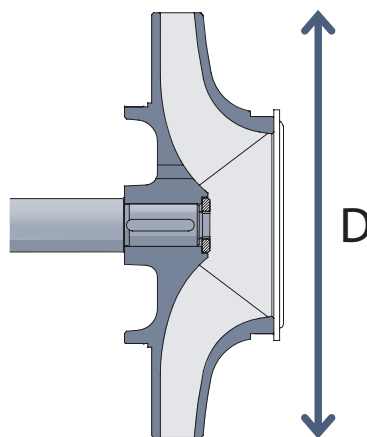


Рис. 4.1.4: Изменение характеристик насоса при уменьшении диаметра рабочего колеса

Следующие уравнения показывают влияние изменения скоростей центробежного насоса на его параметры:

$$\frac{Q_{H1}}{Q_{H2}} = \frac{n_{H1}}{n_{H2}}; \frac{H_{H1}}{H_{H2}} = \left(\frac{n_{H1}}{n_{H2}}\right)^2; \frac{P_{H1}}{P_{H2}} = \left(\frac{n_{H1}}{n_{H2}}\right)^3; \frac{\eta_{H1}}{\eta_{H2}} = 1$$

Эти уравнения действительны при условии, что характеристика системы остается неизменной для n_{H1} и n_{H2} и образует параболу, выходящую из точки с координатами (0, 0) — см. раздел 3.1.1. Более того, предполагается, что и КПД насоса остается неизменным при двух скоростях.

Из формул на рис. 4.1.5 видно, что расход насоса (Q) прямо пропорционален его скорости вращения (n). Напор насоса (H) прямо пропорционален квадрату скорости вращения, а мощность его прямо пропорциональна кубу скорости вращения. На практике снижение скорости вращения насоса приводит к уменьшению его КПД. КПД при снижении скорости (n_{H2}) может быть определен по следующей формуле, которая имеет силу только при снижении скорости до 50% от максимальной:

$$\eta_{H2} = 1 - (1 - \eta_{H1}) \cdot \left(\frac{n_{H1}}{n_{H2}}\right)^{0,1}$$

И, наконец, если необходимо знать, сколько Вы сэкономите на электроэнергии при снижении скорости насоса, нужно учесть КПД преобразователя частоты и электродвигателя.

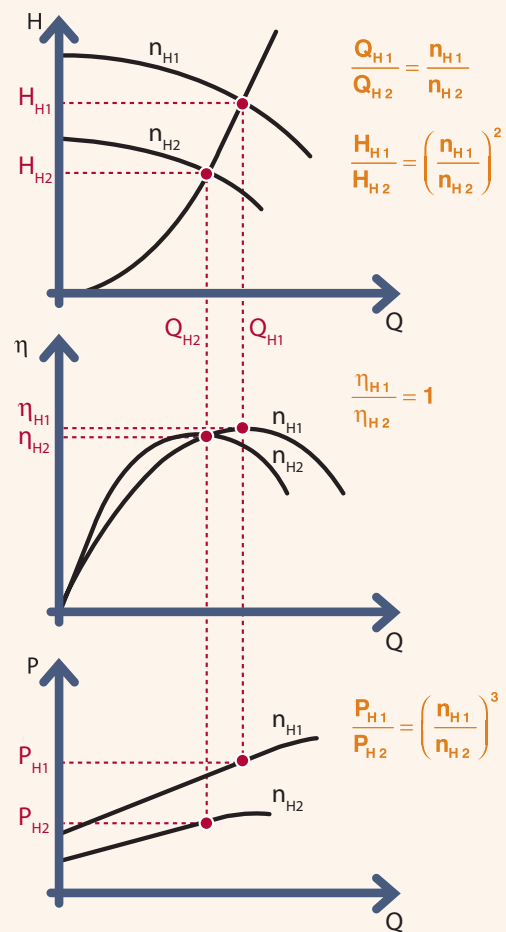


Рис. 4.1.5: Характеристики системы для уравнений подобия

4.1.5. Сравнение методов регулирования

После того, как мы познакомились с четырьмя способами регулирования рабочих параметров насоса, рассмотрим характерные отличия каждого из них. Мы будем рассматривать насос и устройство регулирования как единое целое и сравним результирующую характеристику $Q-H$ с характеристиками других методов.

Дроссельное регулирование

При дроссельном регулировании используется задвижка, соединенная последовательно с насосом, см. рис. 4.1.6(а). Такое соединение идентично новому насосу с другими рабочими характеристиками: при том же максимальном напоре мы получаем более низкий максимальный расход. Характеристика насоса H_{H1} , характеристика задвижки и результирующая характеристика H_{H2} представлены на рис. 4.1.6(б).

Регулирование байпасом

При установке задвижки параллельно с насосом (рис. 4.1.7(а)), происходит изменение характеристики $Q-H$, и такое соединение идентично новому насосу с меньшим максимальным напором. Результирующая характеристика системы будет более походить на линейную функцию, чем на квадратную параболу, см. рис. 4.1.7(б).

Коррекция диаметра рабочего колеса

При таком способе не происходит подключения к насосу каких-либо дополнительных устройств для изменения его рабочих параметров, но уменьшается диаметр его рабочего колеса. На рис. 4.1.8 представлена пониженная характеристика $Q-H$ (H_{H2}) и оригинальная характеристика (H_{H1}).

Регулирование скорости

При регулировании скорости (рис. 4.1.9) происходит создание новой характеристики $Q-H$ при сниженном напоре и расходе. При снижении скорости характеристика насоса становится более полой, и напор понижается существеннее, чем расход.

В сравнении с другими методами, регулирование скорости позволяет расширить диапазон рабочих параметров насоса вверх от номинальной характеристики $Q-H$ путем простого увеличения скорости, см. рис. 4.1.9 — характеристика H_3 . При таком методе регулирования необходимо учитывать мощность электродвигателя.

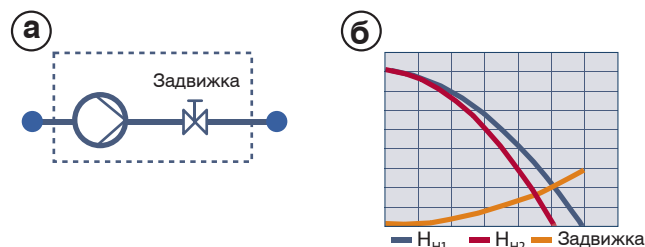


Рис. 4.1.6: Задвижка, установленная последовательно с насосом

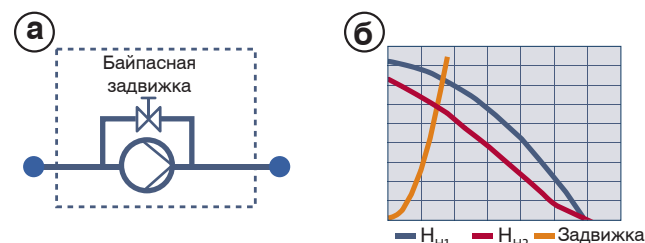


Рис. 4.1.7: Байпасная (перепускная) задвижка, соединенная параллельно с насосом

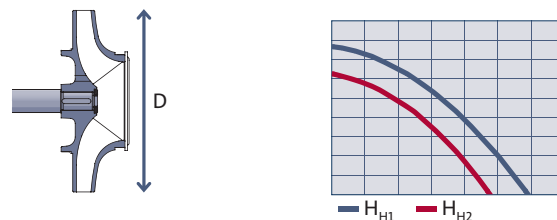


Рис. 4.1.8: Регулирование изменением диаметра рабочего колеса

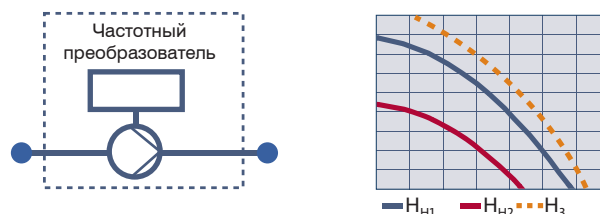


Рис. 4.1.9: Регулятор скорости, соединенный с насосом

4.1.6. Общий КПД насосной системы

При дроссельном и байпасном регулировании имеют место гидравлические потери мощности в задвижках ($P_{\text{пот}} = k \cdot Q \cdot H$). Следовательно, происходит снижение КПД всей системы. Уменьшение размера рабочего колеса при соотношении $D_{H2}/D_{H1} > 0,8$ не оказывает значительного влияния на КПД насоса и, следовательно, не снижает общий КПД системы.

При регулировании скорости насоса, пока скорость не упадет ниже 50% от номинальной, КПД регулируемых насосов изменяется в некотором ограниченном диапазоне. При дальнейшем снижении скорости КПД снизится на несколько процентов, что не окажет значительного влияния на экономические показатели системы.

4.1.7. Пример: Относительное потребление энергии при снижении расхода на 20%

В системе расход должен быть снижен с 60 м³/ч до 50 м³/ч. Начальные параметры: $Q = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $H = 70 \text{ м}$. Потребляемую мощность насоса примем за 100%. В зависимости от способа регулирования параметров снижение потребляемой мощности будет разным. Теперь давайте посмотрим, как потребляемая мощность зависит от способа регулирования параметров.

Дроссельное регулирование

Потребляемая мощность снижается примерно до 94% при снижении расхода. Дроссельное регулирование ведет к увеличению напора, см. рис. 4.1.10. Для некоторых насосов потребляемая мощность имеет максимальное значение при значении расхода меньше максимального. В этом случае при дроссельном регулировании происходит увеличение потребляемой мощности.

Регулирование байпасом

Чтобы понизить расход в системе, необходимо уменьшить напор до 55 м с помощью клапана. Это может быть сделано путем увеличения расхода насоса. Как видно из рис. 4.1.11, расход через насос постепенно увеличивается до 81 м³/ч, что ведет к увеличению потребляемой мощности на 10% от первоначального значения. Увеличение потребляемой мощности зависит от типа насоса и его рабочей точки. В некоторых случаях увеличение мощности P_2 равно нулю и, что бывает очень редко, ее значение может быть даже снижено.

Коррекция диаметра рабочего колеса

При уменьшении диаметра рабочего колеса происходит снижение как расхода, так и напора. После снижения расхода на 20%, потребляемая мощность уменьшается примерно до 67% от ее первоначального значения, см. рис. 4.1.12.

Регулирование скорости

При регулировании скорости насоса происходит уменьшение расхода и напора насоса, см. рис. 4.1.13. Таким образом, снижается значение потребляемой мощности до 65% от ее первоначальной величины.

Если необходимо достичь максимума КПД при снижении расхода в системе, оптимальными методами регулирования будут изменение диаметра рабочего колеса и регулирование скорости. Если же насос должен работать в определенной неизменной рабочей точке, лучшим решением будет метод изменения диаметра рабочего колеса. Если мы имеем дело с системой, где расход постоянно меняется, то лучшим вариантом будет регулирование скорости насоса.

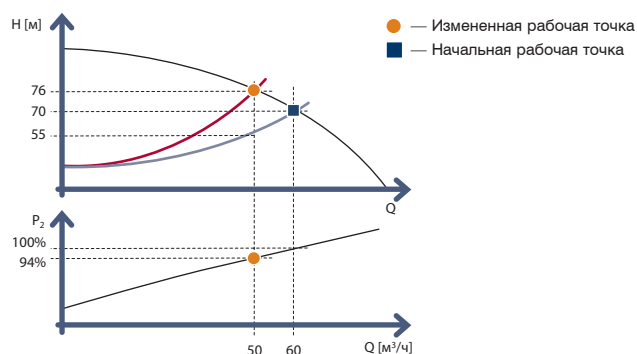


Рис. 4.1.10. Относительная потребляемая мощность — дроссельное регулирование

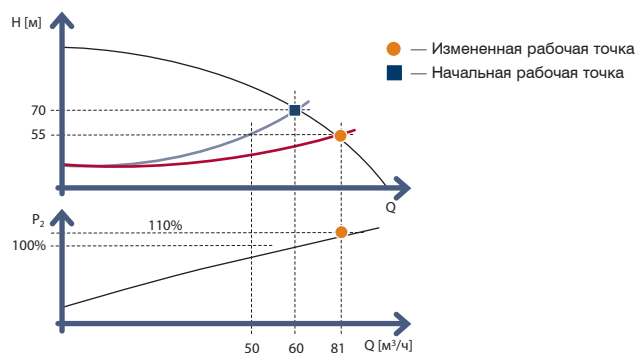


Рис. 4.1.11. Относительная потребляемая мощность — регулирование байпасом

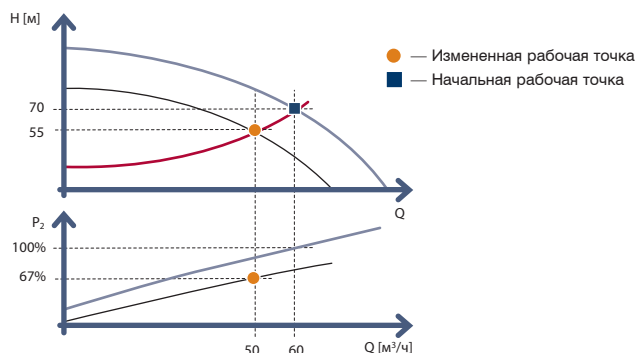


Рис. 4.1.12. Относительная потребляемая мощность — коррекция диаметра рабочего колеса

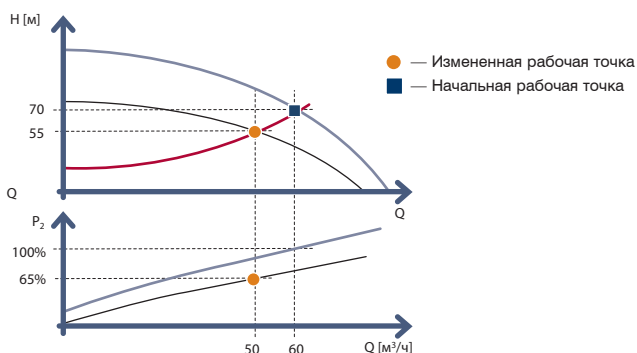


Рис. 4.1.13. Относительная потребляемая мощность — регулирование скорости

Выводы

На рис. 4.1.14 представлен обзор методов регулирования, которые мы рассматривали в этом разделе. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки, которые должны всегда учитываться при выборе способа регулирования для системы.

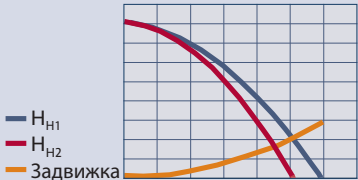
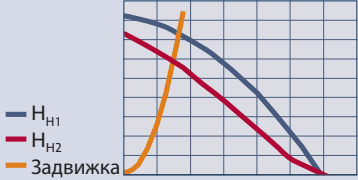
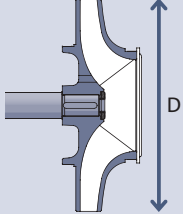
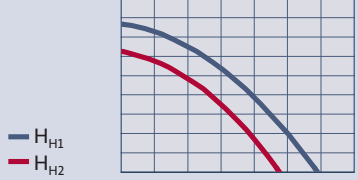
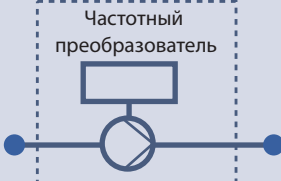
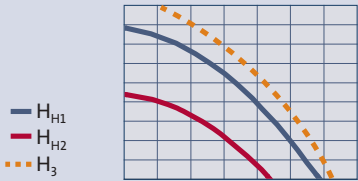
Метод	Возможность продолжительного регулирования	Результирующая характеристика будет иметь	Общий КПД системы	Относительная потребляемая мощность при снижении расхода на 20%
Дроссельная задвижка 	Да	Сниженный Q 	Значительно снижен	94%
Регулирование байпасом 	Да	Сниженный H и изменение вида характеристики 	Значительно снижен	110%
Изменение диаметра рабочего колеса 	Нет	Сниженные Q и H 	Немного уменьшен	67%
Регулирование скорости 	Да	Сниженные Q и H 	Немного уменьшен	65%

Рис. 4.1.14. Характерные особенности методов регулирования

Раздел 4.2

Методы регулирования

Как было отмечено в предыдущем разделе, регулирование скорости насосов является наиболее эффективным способом управления параметрами насоса в системе. В этом разделе мы рассмотрим возможности объединения регулируемых насосов с PI-регуляторами и датчиками, измеряющими параметры системы, такие как давление, перепад давлений и температуру. Далее разные методы регулирования будут описаны на примерах.

4.2.1. Регулирование по постоянному давлению

Насос должен подавать воду из резервуара в различные части здания.

Требования к расходу воды в данном случае будут постоянно меняться, следовательно, и характеристика системы будет меняться в соответствии с потребным расходом. Для экономии энергии и удобства потребителя необходимо, чтобы в системе было постоянное давление.

Как видно из рис. 4.2.1, решением в этом случае будет установка регулируемого насоса с PI-регулятором. PI-регулятор сравнивает установленное значение давления $p_{уст}$ с фактическим значением p_1 , измеренным с помощью датчика давления PT.

Если же фактическое давление выше, чем установленное значение, PI-регулятор снижает скорость насоса и, следовательно, его параметры, до тех пор, пока не установится равенство $p_1 = p_{уст}$. На рис. 4.2.1 показано, что происходит, когда расход меняется с $Q_{макс}$ до Q_1 . PI-регулятор изменяет скорость от значения n_{H1} до n_{H2} , гарантируя при этом, что давление на выходе системы $p_1 = p_{уст}$. Такая насосная система гарантирует постоянное давление в диапазоне расхода от 0 до $Q_{макс}$. Давление воды в точке водоразбора не зависит от ее уровня (h) в резервуаре. Если происходит изменение уровня воды (h), PI-регулятор изменяет скорость насоса таким образом, что давление p_1 всегда соответствует установленному значению.

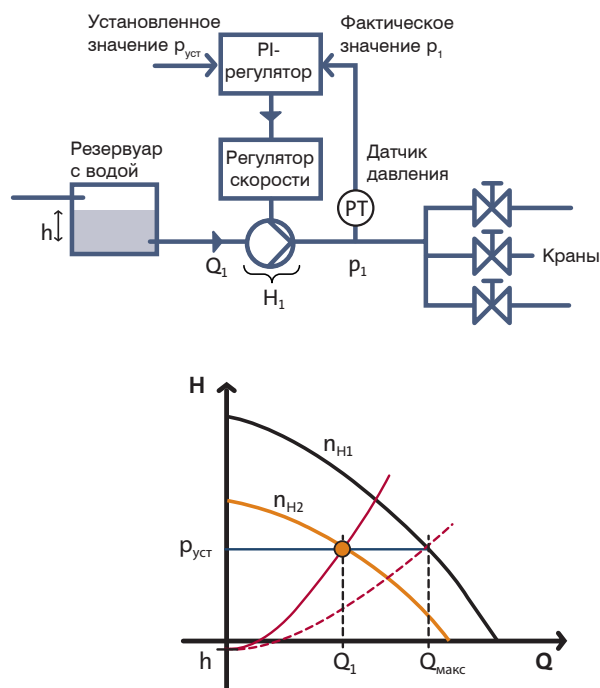


Рис. 4.2.1. Система водоснабжения с регулируемым насосом, обеспечивающим постоянное давление в системе

4.2.2. Регулирование по постоянной температуре

Изменение параметров системы с помощью регулирования скорости насоса используется во многих областях промышленности. На рис. 4.2.2 представлена система формовочной машины, которая должна непрерывно охлаждаться водой для получения продукта высокого качества.

Эта машина охлаждается водой с температурой 15°C , поступающей из холодильной установки. Чтобы данная формовочная машина работала качественно и охлаждалась достаточным образом, температура в обратном трубопроводе должна поддерживаться на постоянном уровне — $t_{\text{обр}} = 20^{\circ}\text{C}$. Для этого необходимо установить регулируемый по температуре насос, управляемый с помощью PI-регулятора. PI-регулятор сравнивает установленную температуру $t_{\text{уст}}$ с фактической температурой в обратном трубопроводе $t_{\text{обр}}$, которая измеряется с помощью датчика температуры ТТ. Такая система имеет фиксированную характеристику, и, следовательно, рабочая точка насоса находится на характеристике между значениями расхода $Q_{\text{мин}}$ и $Q_{\text{макс}}$. Чем выше потери тепла в установке, тем больший расход холодной воды необходим для поддержания температуры воды в обратном трубопроводе на уровне 20°C .

4.2.3. Регулирование по постоянному перепаду давления в циркуляционной системе

Регулируемые насосы широко используются в циркуляционных (закрытых) системах, см. главу 3. Если система оснащена регулируемым по перепаду давления циркуляционным насосом, она будет обладать определенными преимуществами, см. рис. 4.2.3.

На рисунке представлена система обогрева, в которую входит теплообменник, где вода в системе нагревается и доставляется к трем потребителям (например, радиаторам) с помощью регулируемого насоса. Регулировочный вентиль соединен с каждым радиатором последовательно для регулирования расхода через радиатор в зависимости от того, какая температура необходима потребителю. Насос регулируется по постоянному перепаду давления, измеряемому на насосе. Это означает, что система обеспечивает постоянный перепад давления на насосе в Q -диапазоне от 0 до $Q_{\text{макс}}$, изображенного горизонтальной линией на рис. 4.2.3.

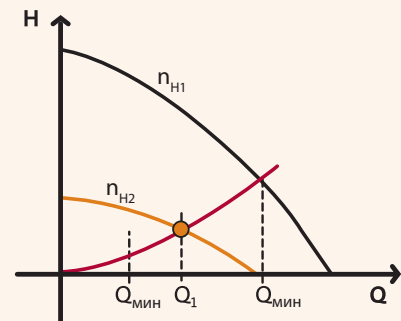
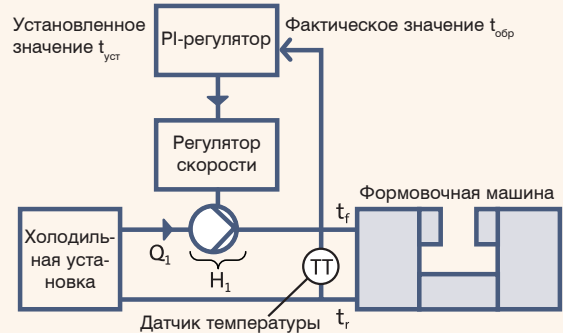


Рис. 4.2.2. Система с формовочной машиной и регулируемым по температуре насосом, обеспечивающим постоянную температуру в обратном трубопроводе

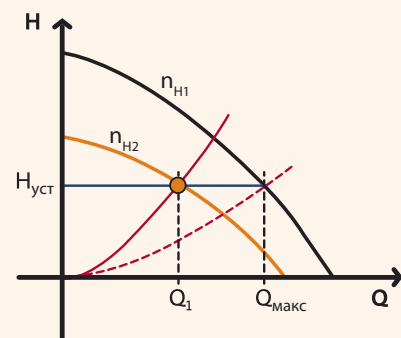
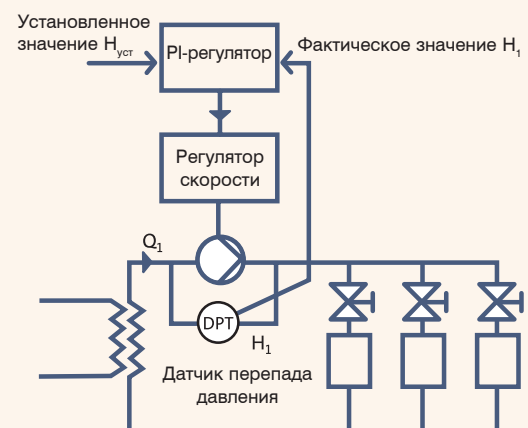


Рис. 4.2.3. Система отопления с насосом, регулируемым по постоянному перепаду давления

4.2.4. Пропорциональное регулирование напора (косвенное)

Основной функцией системы, представленной на рис. 4.2.4, является поддержание постоянного перепада давления на регулировочных вентилях, установленных, например, на радиаторах.

Как было сказано в главе 3, потери давления в системе прямо пропорциональны квадрату расхода. Лучшим способом регулирования насоса в такой системе будет способ, представленный на рисунке справа, где насос поддерживает постоянный перепад давления.

Когда потребный расход в системе достаточно мал, потери давления в трубопроводе, теплообменнике, фитингах и т. д. являются также небольшими, и при этом насос только компенсирует потери давления на регулировочном вентиле, $H_{уст} - H_{тр}$. Когда потребный расход увеличивается, потери давления увеличиваются в квадратичной зависимости и, следовательно, необходимо повысить давление насоса (рис. 4.2.4, голубая кривая).

Такая система может быть смонтирована двумя способами:

- Датчик перепада давления размещается на насосе — DPT_1 , см. рис. 4.2.4.
- Датчик перепада давления размещается на потребителях — DPT_2 , рис. 4.2.4.

Преимущество первого решения состоит в том, что насос, PI-регулятор, частотный преобразователь и датчик располагаются близко друг к другу, что позволяет упростить монтаж системы. При таком монтаже система регулирования и насос представляет собой единый узел, см. раздел 4.4. Чтобы включить эту систему и обеспечить ее работу, потребное значение перепада давления должно быть введено в систему управления насоса. Эти данные будут использоваться для расчета расхода, а также расчета, на сколько должно быть уменьшено установленное значение $H_{уст}$ при данном расходе, чтобы гарантировать соответствие рабочих параметров насоса характеристике системы, представленной на рис. 4.2.4 голубым цветом.

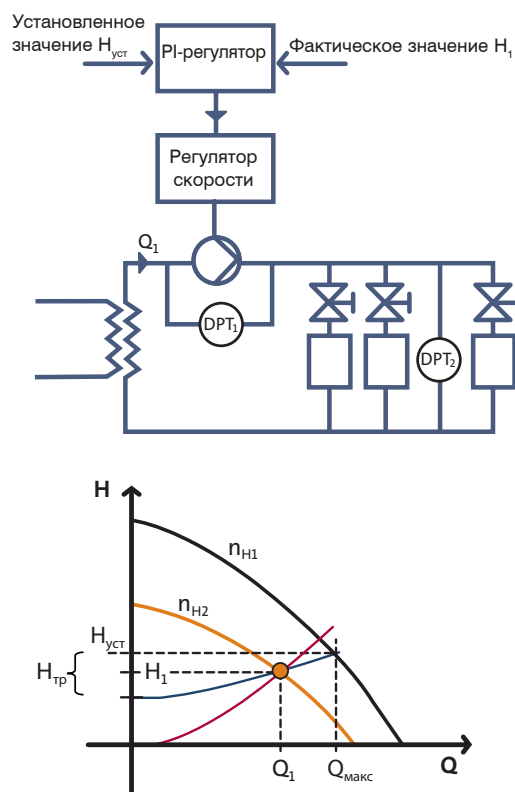


Рис. 4.2.4. Система отопления с пропорциональным косвенным регулированием напора

Второй вариант монтажа, когда датчик расхода установлен на радиаторах, будет стоить дороже, т.к. при этом должна быть произведена укладка кабеля. Параметры этой системы приблизительно такие же, как и у первой. Датчик измеряет перепад давления на объекте потребления, и система автоматически меняет свои параметры с целью компенсации перепада давления в подающем трубопроводе и т.д.

Раздел 4.3

Преимущества регулирования скорости насосов



Обычно насос, установленный в системе, не работает с максимальной производительностью 24 часа в сутки. Поэтому большим преимуществом будет автоматическое регулирование насоса в системе. Как мы видели в разделе 4.1, наилучшим способом регулирования рабочих параметров центробежного насоса является метод регулирования скорости. Этот метод регулирования в основном осуществляется с помощью преобразователя частоты.

Далее мы рассмотрим работу регулируемых насосов в открытых и закрытых системах. Но прежде чем мы вникнем в этот вопрос глубже, давайте проанализируем преимущества, которые дает нам регулирование скорости, и выгоды, получаемые при использовании регулируемых насосов, оснащенных преобразователем частоты.

Снижение энергопотребления

Регулируемые насосы используют только то количество энергии, которое необходимо для выполнения насосом определенной работы. По сравнению с другими методами, регулирование скорости обеспечивает максимальный КПД и, таким образом, более эффективное использование энергии, см. раздел 4.1.

Низкая стоимость жизненного цикла

Как мы увидим далее, в 5 главе, энергопотребление насоса является очень важным фактором, влияющим на стоимость жизненного цикла. Поэтому основным моментом будет снижение эксплуатационных затрат на систему. Эффективная эксплуатация ведет к более низкому энергопотреблению и, следовательно, к более низким эксплуатационным издержкам. В некоторых случаях использование регулируемых насосов позволяет снизить энергопотребление по сравнению с нерегулируемыми на 50%.

Защита окружающей среды

Использование насосов с эффективным энергопотреблением способствует меньшему загрязнению окружающей среды.

Высокий уровень комфорта

Использование регулируемых насосов в различных системах обеспечивает потребителю высокий уровень комфорта и удобство обслуживания: в системах водоснабжения автоматическое регулирование давления и плавный пуск насосов позволяет избежать гидравлического удара и шума; в циркуляционных системах регулируемые насосы поддерживают постоянный перепад давления, что позволяет минимизировать уровень шума в системе.

Уменьшение стоимости системы

Регулируемые насосы могут снижать потребность в регулирующих вентилях в системе и, соответственно, снижать ее стоимость.

Раздел 4.4

Преимущества насосов со встроенным преобразователем частоты

Применение насосов со встроенным преобразователем частоты является оптимальным решением во многих производственных отраслях. И основной причиной этого является объединение преимуществ регулируемого насоса с преимуществами, полученными от соединения в единый узел насоса, преобразователя частоты, PI-регулятора и иногда также датчика давления, см. рис. 4.4.1.

Насос со встроенным преобразователем частоты можно смело назвать системой, способной разрешать различные задачи, экономя при этом электроэнергию. Что касается взаимозаменяемости, то насосы со встроенным преобразователем частоты являются идеальными, так как их можно устанавливать вместо нерегулируемых насосов без дополнительных затрат. Для проведения таких работ необходимо оснастить насос встроенным преобразователем частоты, после чего он готов к эксплуатации. От монтажника требуется только установить заданное значение (давление), и система готова к работе.

Далее последует краткое описание преимуществ, которые дают насосы со встроенным преобразователем частоты.

Удобство монтажа

Насосы со встроенным преобразователем частоты так же удобны в монтаже, как и нерегулируемые насосы. Предварительные установки и регулировки насоса сделаны на заводе — изготовителе.

Оптимизация энергопотребления

Так как насос, электродвигатель и преобразователь частоты полностью совместимы друг с другом, работа такой системы значительно снижает энергопотребление.

Единый поставщик

Единый поставщик может предоставить насос, преобразователь частоты и датчик, что, естественно облегчает определение габаритов установки, ее подбор, заказ, а также сервисное обслуживание и ремонт.

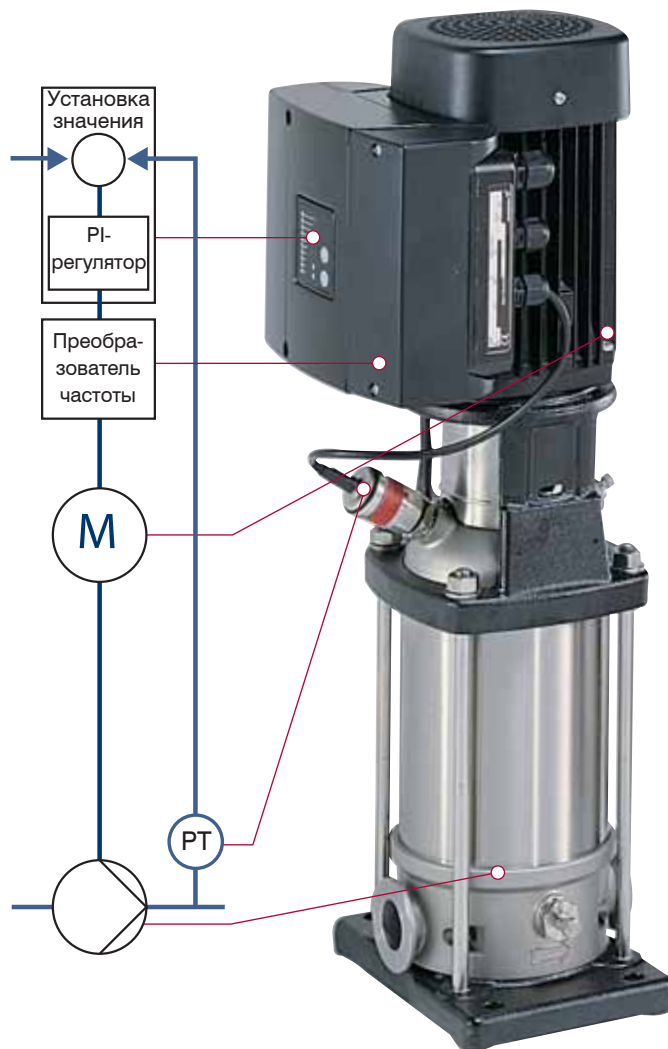


Рис. 4.4.1. Насосный агрегат со встроенным преобразователем частоты и датчиком давления.

Широкий диапазон рабочих параметров

Насосы со встроенным преобразователем частоты имеют очень широкий диапазон рабочих параметров, что позволяет им работать с большой эффективностью при различных условиях эксплуатации и отвечать большому количеству требований. Поэтому при замене нерегулируемых насосов, с узким рабочим диапазоном, Вам потребуется меньшее количество регулируемых насосов.

4.4.1. Рабочие характеристики регулируемых насосов

Теперь давайте посмотрим, что можно узнать из характеристик регулируемых насосов.

На рис. 4.4.2 показан пример характеристики регулируемого насоса. Верхний график представляет рабочую характеристику Q-H, нижний — соответствующую характеристику потребляемой мощности.

Как Вы видите, характеристики приведены для каждого 10% снижения скорости насоса, от 100% до 50%. Также изображена минимальная характеристика, соответствующая 25% от максимальной скорости. Вы можете указать определенную рабочую точку на характеристике Q-H и определить, какая скорость соответствует этой рабочей точке и какой будет потребляемая мощность P1.

4.4.2. Регулируемые насосы в разных системах

Регулируемые насосы широко используются в различных системах. Изменение рабочих параметров насоса и, следовательно, потенциальная экономия энергии при этом зависят от типа системы.

Как было отмечено в главе 3, характеристика системы определяет значение требуемого напора насоса для транспортировки через систему определенного количества жидкости. На рис. 4.4.3 показана характеристика насоса и характеристика открытой и закрытой систем.

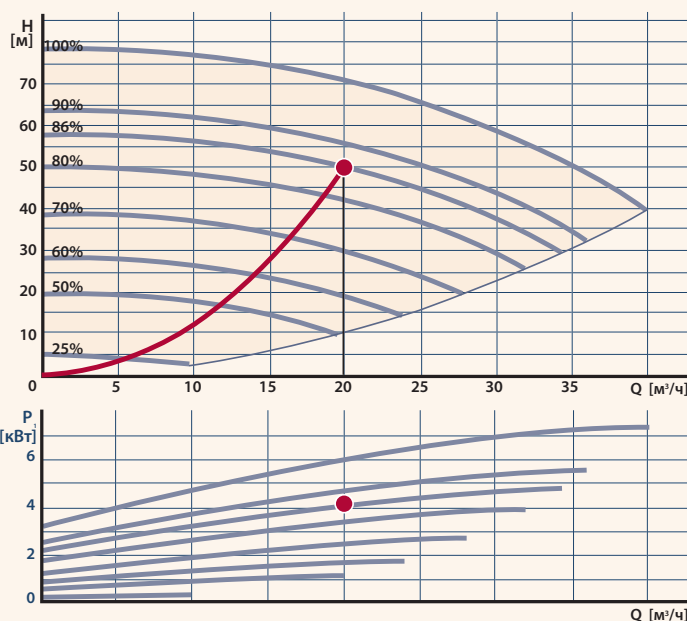


Рис. 4.4.2. Характеристика регулируемого насоса.

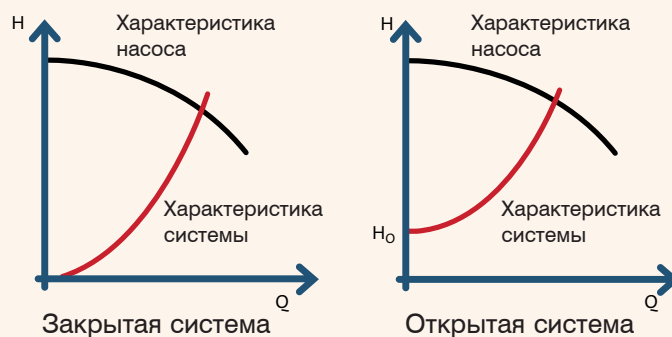


Рис.4.4.3: Рабочая точка насоса в закрытой и открытой системах

Раздел 4.4

Преимущества насосов со встроенным преобразователем частоты

Регулируемые насосы в закрытых системах

В закрытых системах, таких как системы отопления и кондиционирования, насос работает на преодоление потерь на трение в трубопроводе, клапанах, теплообменниках и т. д. В этом разделе мы представим пример работы регулируемого насоса в закрытой системе. Общие потери на трение при расходе $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ составляют 16 м, см. рис. 4.4.4.

Характеристика системы берет начало в точке (0, 0) и изображена на рис. 4.4.5 красной линией. Регулировочные вентили в данной системе всегда нуждаются в определенном рабочем давлении, поэтому насос не может работать в соответствии с характеристикой системы. Поэтому некоторые регулируемые насосы предлагают функцию пропорционального регулирования давления, что будет гарантировать работу насоса в соответствии с показанной на рисунке оранжевой линией. Как видно из диаграммы на рис. 4.4.5, минимальные рабочие параметры соответствуют скорости примерно 57% от максимальной. В некоторых ситуациях (например, работа циркуляционной системы обогрева в ночное время) очень важно иметь возможность эксплуатации насоса по минимальной характеристике (25% от полной скорости).

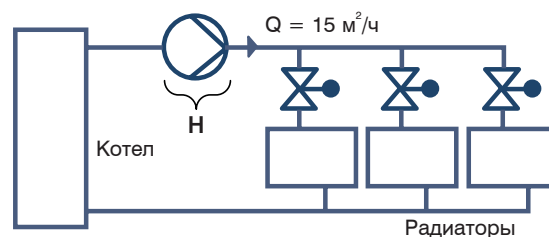


Рис. 4.4.4. Закрытая система

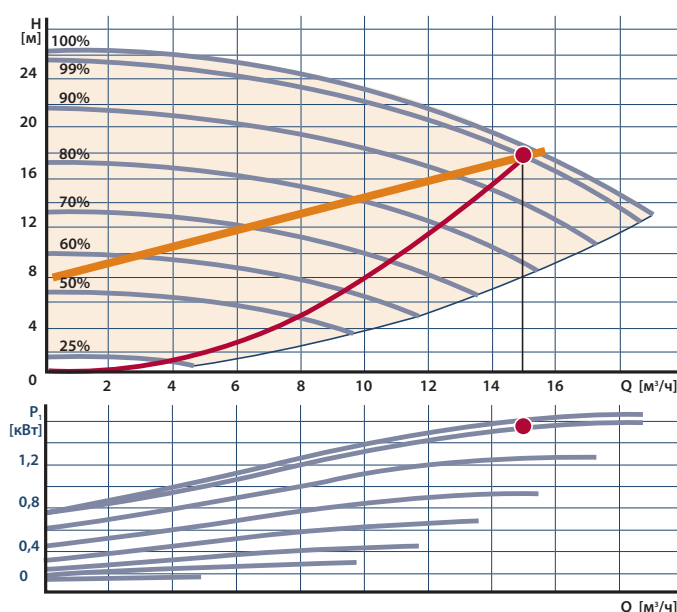


Рис. 4.4.5. Регулируемый насос в закрытой системе

Регулируемые насосы в открытых системах

Характеристика системы и рабочий диапазон насоса зависят от типа системы. На рис. 4.4.6 представлен насос, работающий в системе повышения давления/водоснабжения. Насос с расходом $Q = 6,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, подает воду к водопроводному крану, который расположен на высоте $h = 20 \text{ м}$ относительно насоса. Давление на входе насоса $p_{\text{всас}}$ составляет 1 бар, давление в кране $p_{\text{кр}}$ должно соответствовать 2 барам и потери на трение в системе $p_{\text{тр}}$ при полном расходе — 3 бара.

На рис. 4.4.7 изображена Q - H характеристика насоса, отвечающая приведенным выше требованиям. Можно просчитать требуемый напор при нулевом расходе (H_0), используя следующую формулу:

$$H_0 = h + \frac{p_{\text{кр}} - p_{\text{всас}}}{\rho \cdot g} = 20 + \frac{(2 - 1) \cdot 10^5}{998 \cdot 9,81} = 30,2 \text{ м}$$

- $p_{\text{кр}}$ — давление в кране
- $p_{\text{всас}}$ — давление на всасывании
- $p_{\text{тр}}$ — потери давления на трение
- Q — расход
- h — гидростатический напор

Чтобы просчитать максимальный напор при расходе (Q), равном $6,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$H_{\text{макс}} = H_0 + \frac{p_{\text{тр}}}{\rho \cdot g} = 30,2 + \frac{1,3 \cdot 10^5}{998 \cdot 9,81} = 43,5 \text{ м}$$

Чтобы обеспечить эти параметры от нулевого расхода до максимального $Q = 6,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, насос работает в достаточно узком диапазоне скоростей — от 65% до 99% от максимальной скорости. В системах с небольшими потерями на трение диапазон изменения скорости будет еще меньше. При отсутствии потерь на трение, минимальная скорость будет составлять примерно 79% от полной скорости.

Из предыдущих двух примеров можно сделать следующий вывод: диапазон изменения скорости и, следовательно, потребляемой мощности в закрытых системах выше. Поэтому регулируемые насосы в закрытых системах дают большую экономию электроэнергии.

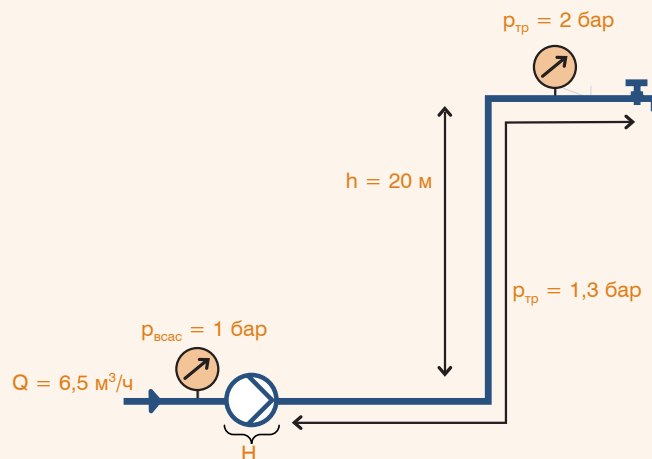


Рис. 4.4.6. Насос в системе водоснабжения

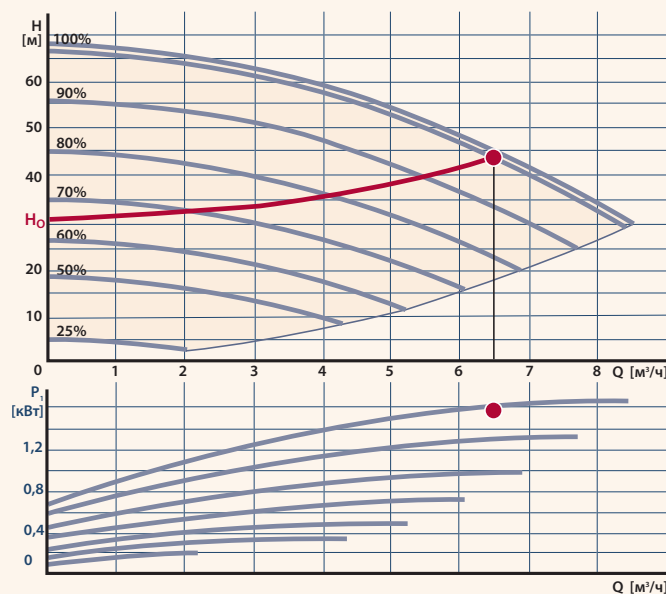


Рис. 4.4.7. Регулируемый насос в открытой системе

Как было упомянуто ранее, регулирование скорости насосов осуществляется с помощью преобразователя частоты. Рассмотрим подробнее принцип его работы и расскажем о мерах предосторожности при работе с этим устройством.

4.5.1. Основные функции и характеристики

Известно, что скорость асинхронного электродвигателя напрямую зависит от количества его полюсов (максимальной частоты вращения вала) и от частоты переменного тока в источнике питания. На скорость электродвигателя также оказывают влияние величина напряжения питания и нагрузка на вал двигателя, но не так значительно. Следовательно, изменение частоты напряжения питания является идеальным методом регулирования скорости асинхронного электродвигателя. Чтобы обеспечить правильное намагничивание электродвигателя, также необходимо изменить амплитуду напряжения.

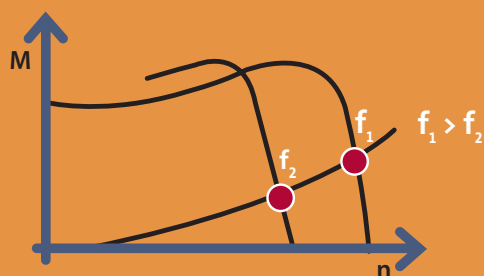


Рис. 4.5.1. Смещение характеристики крутящего момента в электродвигателе

Регулирование частоты и напряжения приводит к смещению характеристики крутящего момента и, таким образом, к изменению скорости. На рис. 4.5.1 показана характеристика крутящего момента электродвигателя (M), как функция скорости вращения (n) при двух разных значениях частоты и напряжения. На этой же диаграмме изображена характеристика нагрузки насоса. Как видно из диаграммы, изменение скорости вращения происходит при изменении частоты и напряжения переменного тока в электродвигателе.

Преобразователь частоты изменяет частоту и напряжение электрического тока, поэтому мы можем сделать вывод, что основной задачей этого устройства является изменение величины напряжения и частоты переменного тока.

4.5.2. Компоненты преобразователя частоты

В принципе, все преобразователи частоты состоят из одних и тех же блоков. Как было упомянуто ранее, основной функцией преобразователя является преобразование напряжения сети переменного тока в переменное напряжение (AC) с другой частотой и амплитудой.

В первую очередь, преобразователь частоты выпрямляет входящий переменный ток и напряжение, а затем аккумулирует энергию в промежуточном контуре, содержащем конденсатор. После этого напряжение постоянного тока (DC) преобразуется в новое AC напряжение, с другой частотой и амплитудой.

Частота переменного тока сети напрямую не оказывает влияния на выходную частоту и, следовательно, на скорость электродвигателя, так как в преобразователе частоты имеется промежуточный контур. При этом не имеет значения, какая частота в сети питания — 50 Гц или 60 Гц, потому что выпрямитель будет работать в обоих случаях. Кроме того, входная частота не будет влиять на выходную. Опираясь на вышеизложенные факты, использование преобразователя частоты с асинхронным электродвигателем дает следующие преимущества:

- Система может быть использована без каких-либо изменений при частоте 50 и 60 Гц.
- Частота на выходе преобразователя не зависит от частоты на его входе.
- Преобразователь частоты может обеспечивать частоты на выходе выше, чем в сети переменного тока, — это обеспечивает высокую степень синхронизации работы.

Как видно из рисунка 4.5.2, преобразователь частоты включает в себя еще три компонента: ЕМС фильтр, цепь управления и инвертор (обратный преобразователь).

Питание от сети переменного тока

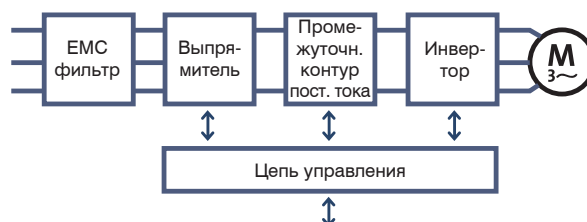


Рис. 4.5.2. Функциональные блоки преобразователя частоты



EMC фильтр

Данный блок не является основной функциональной частью преобразователя частоты, и, в принципе, им можно было бы пренебречь в данном устройстве. Но чтобы обеспечить соответствие требованиям Директивы Европейского Союза по EMC (электромагнитной совместимости), а также местным требованиям, такой фильтр является необходимым элементом. EMC фильтр позволяет избежать проникновения обратно в сеть переменного тока недопустимых вредных электрических сигналов, которые способны негативно воздействовать на другие электронные приборы, подключенные к сети. Одновременно фильтр препятствует проникновению шумовых сигналов, произведенных другим оборудованием сети, в электронные компоненты преобразователя частоты.

Цепь управления

Цепь управления имеет две функции: она осуществляет контроль над преобразователем частоты и в то же время обеспечивает нормальную связь с другими устройствами.

Инвертор (обратный преобразователь)

Напряжение на выходе преобразователя частоты не является синусоидальным, как напряжение сети переменного тока. Напряжение, подаваемое на электродвигатель, содержит определенное количество прямоугольных импульсов, см. рис. 4.5.3. Среднее значение таких импульсов образует синусоидальное напряжение необходимой частоты и амплитуды. Частота может изменяться от единиц кГц до 20 кГц, в зависимости от марки. Чтобы избежать шума, производимого в обмотке электродвигателя, предпочтительнее применять преобразователь частоты с фильтром частот выше диапазона звуковой чувствительности (~ 16 кГц).

Принцип работы инвертора называется ШИМ (широтно-импульсная модуляция), и этот принцип в настоящее время широко используется в преобразователях частоты.

Ток в электродвигателе в основном синусоидальный. На рис. 4.5.4 (а) в верхней части показан ток электродвигателя и его напряжение (внизу); на рис. 4.5.4 (б) представлен фрагмент напряжения электродвигателя, из которого видно, как меняется отношение пульсаций напряжения.

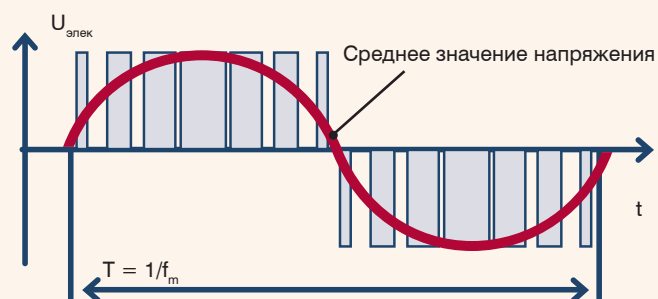


Рис. 4.5.3. АС напряжение с переменной частотой (f_m) и переменным напряжением ($U_{\text{эл}}$).

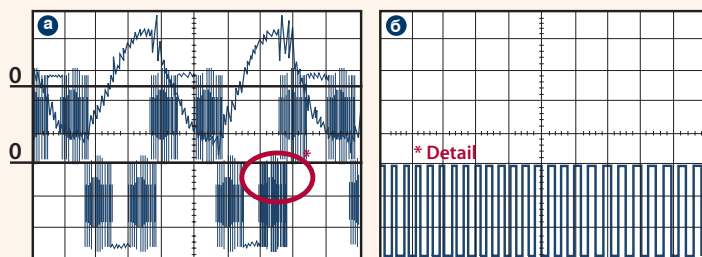


Рис. 4.5.4. а) электрический ток в электродвигателе (сверху) и напряжение при ШИМ регулировании; б) фрагмент напряжения электродвигателя

4.5.3. Специальные условия, касающиеся преобразователей частоты

После установки преобразователя частоты или оснащенного им насоса, монтажник и эксплуатационщик должны обращать внимание на некоторые моменты, т. к. преобразователь частоты будет вести себя несколько иначе по отношению к сети переменного тока, чем насос со стандартным асинхронным электродвигателем. Далее мы рассмотрим эти моменты.

Несинусоидальная подводимая мощность; преобразователь частоты с трехфазным источником питания

Преобразователь частоты, подобный описанному выше, не получает синусоидальный ток от сети. Помимо всего прочего, это сказывается на размерах кабеля сети, переключателе и т. д. На рис. 4.5.5 показано, как выглядит сила тока и напряжение сети для:

а) трехфазного стандартного асинхронного электродвигателя, 2900 1/мин

б) трехфазного стандартного асинхронного электродвигателя со встроенным преобразователем частоты, 2900 1/мин.

В обоих случаях мощность, передаваемая электродвигателем на вал, составляет 3 кВт.

При сравнении силы тока в обоих случаях, можно увидеть два следующих различия, см. рис. 4.5.6:

- Электрический ток в системе с преобразователем частоты — не синусоидальный
- Амплитуда силы тока для электродвигателя с преобразователем частоты намного выше (примерно на 52%)

Это происходит благодаря конструкции преобразователя частоты, в котором сеть питания соединяется с выпрямителем и конденсатором. Изменение в конденсаторе происходит в течение короткого промежутка времени, в этот момент выпрямленное напряжение выше, чем напряжение в конденсаторе.

Для стандартного электродвигателя без преобразователя частоты связь между напряжением (U), силой тока (I), и мощностью (P) представлена формулой справа. Эту формулу нельзя использовать при расчете потребляемой мощности для электродвигателей с преобразователем частоты.

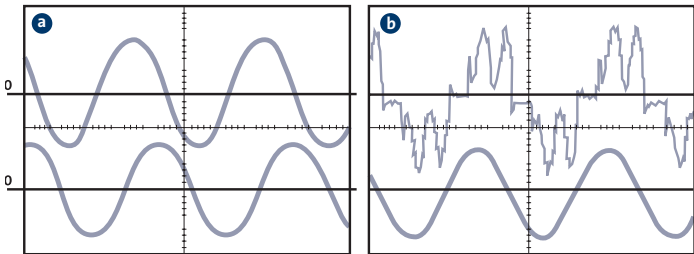


Рис. 4.5.5

а) Трехфазный двухполюсный стандартный асинхронный электродвигатель

б) Трехфазный двухполюсный стандартный асинхронный электродвигатель с преобразователем частоты

	Стандартный электродвигатель	Электродвигатель с преобразователем частоты
Напряжение сети переменного тока	400 В	400 В
Действующая сила тока в сети	6,4 А	6,36 А
Амплитудное значение силы тока в сети	9,1 А	13,8 А
Потребляемая мощность, P1	3,68 кВт	3,69 кВт
Cos φ, коэффициент мощности (PF)	Cos φ = 0,83	PF = 0,86

Рис. 4.5.6. Сравнение значений электрического тока для стандартного электродвигателя и двигателя с преобразователем частоты

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

- U — напряжение между двумя фазами
- I — сила тока в фазе
- Оба действующих значения (RMS значения) применяются для напряжения U и силы тока I
- Cos φ — сдвиг по фазе между силой тока и напряжением

Пример расчета:
U = 400В, I = 6,4 А, cosφ = 0,83
Результат — потребляемая мощность P = 3,68 кВт.



Так как ток в преобразователе частоты не является синусоидальным, расчет потребляемой мощности, основанный на простом измерении силы тока и напряжения, будет неверным. В данном случае мощность должна рассчитываться с помощью специальных приборов и на основе мгновенных замеров силы тока и напряжения.

Если известна мощность (P) и действующее значение силы тока и напряжения, так называемый коэффициент мощности (PF) может быть рассчитан по следующей формуле:

$$PF = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}$$

Когда сила тока и напряжение являются синусоидальными, коэффициент мощности (PF) не имеет прямой связи со сдвигом фаз между током и напряжением во времени.

При измерении входного тока преобразователя частоты при проведении монтажа или ремонтных работ, необходимо использовать специальный прибор для измерения не синусоидального тока. В общем, прибор для измерения тока преобразователя частоты должен измерять среднее квадратичное значение «True RMS».

Преобразователь частоты и устройство защитного отключения тока или УЗО (ELCB)

Автоматы защитного отключения тока короткого замыкания на землю все чаще используются, как дополнительная защита в электрических установках. Если преобразователь частоты соединен с таким устройством, необходимо удостовериться, что установленный автомат (ELCB) разомкнет цепь, даже если повреждение произойдет на стороне прямого тока преобразователя частоты. Для полной уверенности, что автомат защитного отключения, связанный с преобразователем частоты, всегда сработает в случае замыкания тока на землю, он должен иметь маркировку, представленную на рис. 4.5.7 и 4.5.8.

Оба типа таких автоматов защитного отключения сегодня широко представлены на рынке и доступны.



Рис. 4.5.7. Маркировка автомата защитного отключения ELCB для однофазного преобразователя частоты

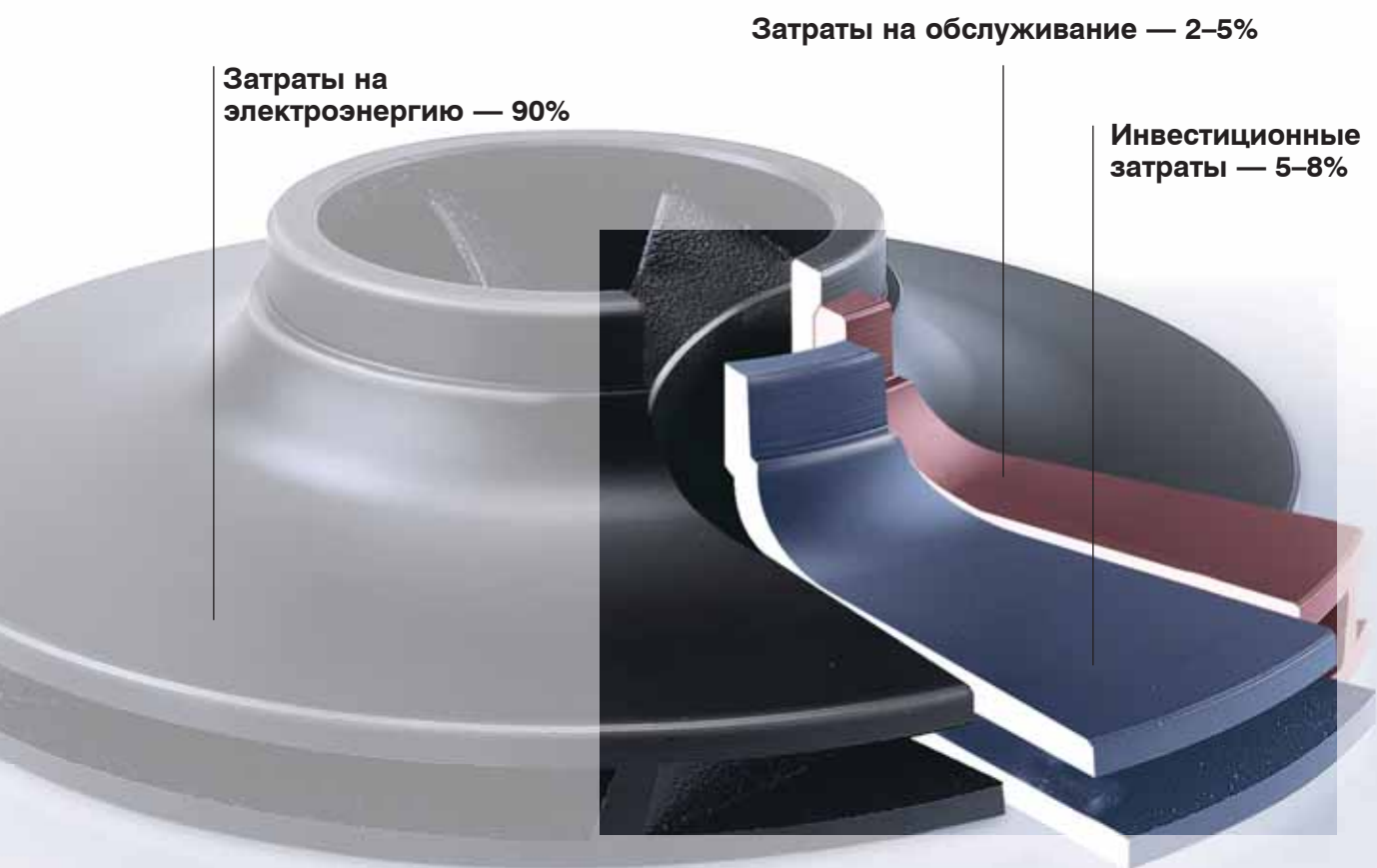


Рис. 4.5.8. Маркировка автомата защитного отключения ELCB для трехфазного преобразователя частоты

Раздел 5.1. Уравнения стоимости жизненного цикла

- 5.1.1. Инвестиционные затраты (затраты на покупку) ($C_{и}$)
- 5.1.2. Затраты на монтаж и пусконаладочные работы ($C_{мон}$)
- 5.1.3. Затраты на электроэнергию ($C_{эл}$)
- 5.1.4. Эксплуатационные затраты ($C_{эксп}$)
- 5.1.5. Экологические затраты ($C_{экол}$)
- 5.1.6. Затраты на ремонт и техническое обслуживание ($C_{обсл}$)
- 5.1.7. Простои оборудования и упущенная прибыль ($C_{пр}$)
- 5.1.8. Затраты на демонтаж и утилизацию (C_0)

Раздел 5.2. Пример расчета стоимости жизненного цикла



Раздел 5.1

Уравнения стоимости жизненного цикла

В этом разделе мы обратим внимание на элементы, определяющие стоимость жизненного цикла насосов (LCC). Расскажем, какие факторы необходимо учитывать при расчете стоимости жизненного цикла, и опишем методику расчета. В заключение продемонстрируем на примере слагаемые стоимости жизненного цикла.

Стоимость жизненного цикла насоса — это выражение, определяющее общую стоимость насоса на протяжении его срока службы: сколько стоит покупка, установка, работа, обслуживание, утилизация и т.д..

Институт Гидравлики «Eugorimpr» и Министерство Энергетики США разработали справочное руководство под названием «Пособие по анализу стоимости жизненного цикла насосных систем» (LCC), см. рис. 5.1.1. Этот справочник выпущен с целью помочь компаниям минимизировать затраты и увеличить эффективность энергопотребления различных систем, включая и насосные. Расчет жизненного цикла – это руководство по принятию решений при разработке новых установок или модернизации уже существующих.

Стоимость жизненного цикла включает в себя следующие элементы:

- $C_{и}$ Инвестиционные затраты (затраты на покупку)
- $C_{м}$ Затраты на монтаж и пуско-наладочные работы
- $C_{эл}$ Затраты на электроэнергию
- $C_{т}$ Эксплуатационные затраты (трудозатраты)
- $C_{эко}$ Экологические затраты (на охрану окружающей среды)
- $C_{то}$ Затраты на ремонт и техническое обслуживание
- $C_{пр}$ Издержки из-за простоя
- $C_{утил}$ Затраты на демонтаж и утилизацию

В следующих параграфах будет рассмотрен каждый из этих элементов. Как видно из рис. 5.1.2, наиболее важными элементами в расчете стоимости жизненного цикла являются затраты на электроэнергию, инвестиционные затраты и стоимость обслуживания.

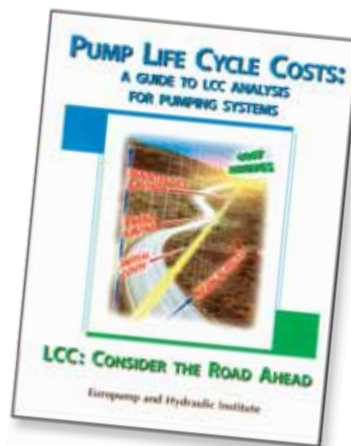


Рис. 5.1.1. Пособие по анализу стоимости жизненного цикла насосных систем



Рис. 5.1.2. Типичная диаграмма стоимости жизненного цикла циркуляционной системы в промышленности

Стоимость жизненного цикла (LCC) рассчитывается по следующей формуле:

$$LCC = C_{и} + C_{м} + C_{эл} + C_{т} + C_{эко} + C_{то} + C_{пр} + C_{утил}$$

5.1.1. Инвестиционные затраты (затраты на покупку) ($C_{\text{и}}$)

Инвестиционные затраты ($C_{\text{и}}$) включают в себя затраты на покупку всего оборудования и дополнительных принадлежностей, необходимых для нормальной работы системы, это — насосы, частотные преобразователи, устройства управления, датчики и т. д., см. рис. 5.1.3.

Часто более дорогое оборудование имеет более длительный срок службы и является более экономичным

5.1.2. Затраты на монтаж и пусконаладочные работы ($C_{\text{мон}}$)

Стоимость монтажа и ввода в эксплуатацию включает в себя стоимость следующих работ:

- Монтаж насосов
- Устройство фундамента
- Соединение электропроводки и подключение электроаппаратуры
- Установка датчиков и частотных преобразователей
- Подключение к системе управления зданием
- Настройка оборудования

Как и в случае с инвестиционными затратами, очень важно учесть все альтернативные варианты. В некоторых случаях регулируемые насосы оснащены встроенными устройствами управления и регулирования, поэтому при высоких инвестиционных затратах, затраты на монтаж и наладку будут невелики.

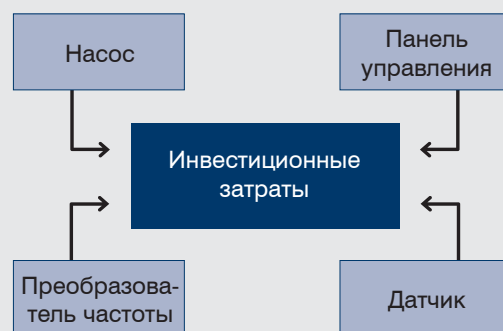


Рис. 5.1.3. Оборудование, стоимость которого входит в инвестиционные затраты

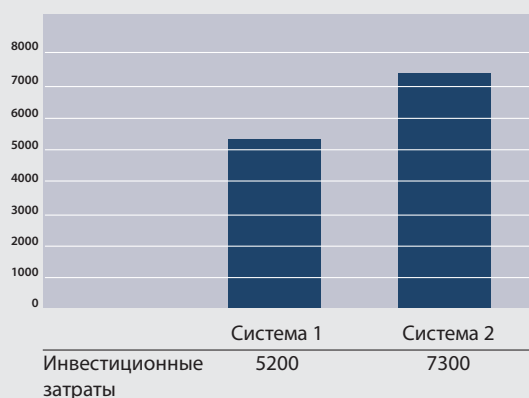


Рис. 5.1.4. Инвестиционные затраты на систему с нерегулируемым насосом (система 1) и с регулируемым насосом (система 2)

5.1.3. Затраты на электроэнергию ($C_{эл}$)

В абсолютном большинстве случаев энергопотребление является основной составляющей стоимости жизненного цикла насосной системы, если насос работает более чем 2000 часов в год. Фактически около 20% от мирового потребления электроэнергии используется в насосных системах, см. рис. 5.1.5.

Далее мы представляем некоторые факторы, влияющие на энергопотребление насосных систем:

- Диаграмма нагрузки
- КПД насоса (расчет рабочей точки), см. рис. 5.1.6
- КПД электродвигателя (КПД электродвигателя при частичной нагрузке может значительно отличаться для стандартных электродвигателей и двигателей 1-го класса энергоэффективности)
- Мощность насоса (иногда излишний запас и округления приводят к ошибочному выбору переразмеренного насоса)
- Другие компоненты системы, такие как трубопровод и клапаны
- Использование регулируемых насосов. При использовании регулируемых насосов экономия энергии может составить до 50%.

5.1.4. Эксплуатационные затраты ($C_{эксп}$)

Эксплуатационные затраты относятся непосредственно к обеспечению работы насосной системы, включают в себя затраты на рабочую силу (трудоzатраты). В некоторых случаях стоимость рабочей силы для обслуживания насосов является незначительной. В настоящее время различные типы автоматических систем управления позволяют подсоединять насосные системы к компьютерной сети, при этом снижая трудозатраты.

5.1.5. Экологические затраты ($C_{экол}$)

Экологические затраты включают в себя отчисления за загрязнение окружающей среды перекачиваемой жидкостью. В современной промышленности удельный вес этого фактора в полной стоимости жизненного цикла насосной системы незначителен.



Рис. 5.1.5. Мировое потребление электроэнергии

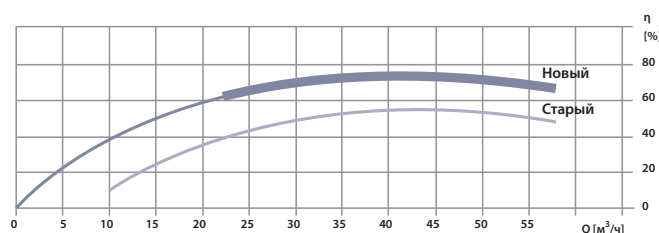


Рис. 5.1.6. Сравнение КПД нового и старого насосов



5.1.6. Затраты на ремонт и техническое обслуживание ($C_{\text{обсл}}$)

Затраты на ремонт и техническое обслуживание включают в себя все затраты, относящиеся к ремонту и техническому обслуживанию насосной системы, например, заработная плата рабочего персонала, стоимость запасных частей, транспортировки и промывки.

Для увеличения срока эксплуатации оборудования и предотвращения незапланированных простоев необходимо проводить плановое техническое обслуживание.

5.1.7. Простои оборудования и упущенная прибыль ($C_{\text{пр}}$)

Издержки вследствие простоя являются существенным фактором для насосной системы, когда это касается процессов производства какой-либо продукции. Причина очень проста: остановка любого процесса производства, даже на короткий период времени, стоит больших денег. В таких случаях хорошим решением является наличие резервного насоса, см. рис. 5.1.7.

5.1.8. Затраты на демонтаж и утилизацию (C_0)

В зависимости от производителя насоса, затраты на демонтаж и утилизацию насосной системы мало влияют на полную стоимость. Поэтому этот фактор редко принимается во внимание.

Расчет стоимости жизненного цикла

Стоимость жизненного цикла насосной системы производится путем суммирования упомянутых выше составляющих, рассчитанных за весь срок службы. Обычный срок службы систем — от 10 до 20 лет. Для насосов и насосных систем стоимость жизненного цикла обычно рассчитывается по более простой формуле, включающей в себя три составляющие. Эта формула представлена справа.

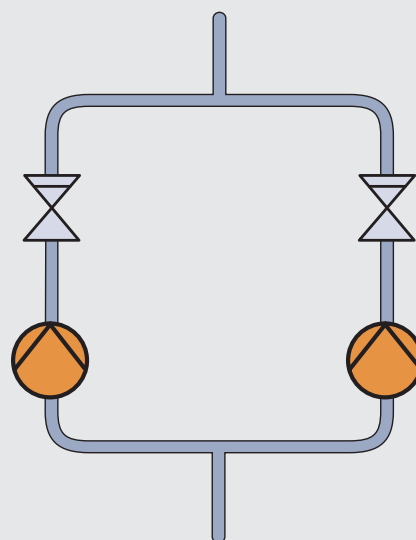


Рис. 5.1.7. Резервный насос гарантирует продолжение производственного процесса в случае поломки основного насоса

$$LCC = C_{\text{и}} + C_{\text{эл}} + C_{\text{то}}$$

Раздел 5.2

Пример расчета стоимости жизненного цикла

Давайте теперь рассмотрим пример использования упрощенной формулы, упомянутой ранее: требуется новый насос для подачи воды, и при этом рассматриваются два варианта:

- Нерегулируемый многоступенчатый центробежный насос
- Многоступенчатый центробежный насос с регулируемой скоростью

Расчеты показывают, что по сравнению с нерегулируемым насосом регулируемый потребляет электроэнергию на 40% меньше. Но начальная стоимость такого насоса (Снс) в два раза выше, чем нерегулируемого.

Расчеты стоимости жизненного цикла помогут определить, какой же насос установить в систему. Использование насоса имеет следующие характеристики:

- 12 часов работы в день
- 220 часов работы в год
- срок службы — 10 лет (расчетный период)

Исходя из этих данных, можно просчитать стоимость жизненного цикла каждого из этих вариантов, см. рис. 5.1.8.

Даже при условии, что начальная цена регулируемого насоса в два раза больше, чем нерегулируемого, окончательная стоимость жизненного цикла регулируемого насоса после 10-летнего срока службы на 25% меньше, чем нерегулируемого.

Кроме того, регулируемый насос имеет, как было рассмотрено в главе 4, ряд преимуществ, таких, например, как обеспечение постоянного давления в системе.

Срок окупаемости регулируемого насоса немного больше, так как начальная его стоимость значительно выше. Как можно видеть из рис. 5.1.9, срок окупаемости такого насоса составляет примерно 2,5 года.

Типы насосов		Нерегулируемый	Регулируемый
Средняя потребляемая мощность	КВт	18,76	11,31
Количество часов работы в день	Час	12	12
Количество рабочих дней в году	Дни	220	220
Расчетный период	Годы	10	10
Окончательная потребляемая мощность	кВт	495 264	298 584
Стоимость электроэнергии	Евро/кВт	0,07	0,07
Цена насоса	Евро	3 602	7 204
Стоимость обслуживания	Евро	1 417	1 417
Стоимость электроэнергии	Евро	33 284	20 066
Окончательная стоимость	Евро	38 303	28 688

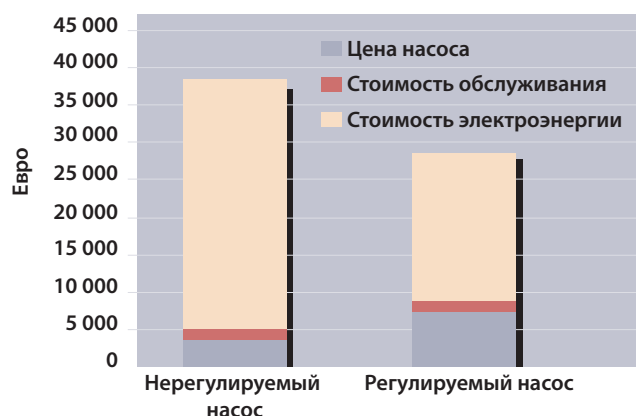


Рис. 5.1.8. Стоимость жизненного цикла регулируемого и нерегулируемого насосов

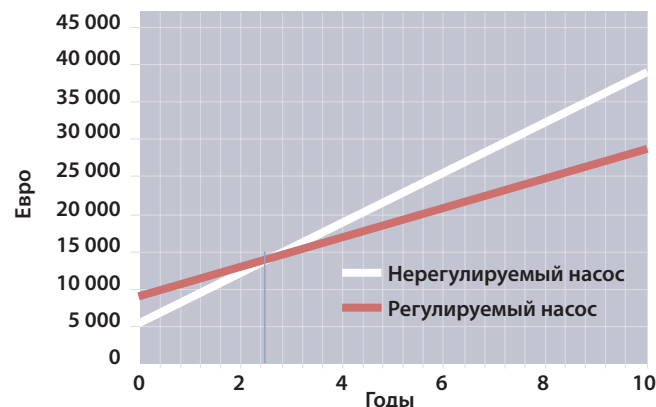


Рис. 5.1.9. Срок окупаемости регулируемого и нерегулируемого насосов

- Черноголовский завод алкогольной и безалкогольной продукции
- Комплекс «Москва-Сити»
- Очистные сооружения Центральной станции аэрации Санкт-Петербурга
- Российский государственный Большой театр
- Завод «Пепси-Кола»
- Балтийский Балкерный Терминал
- Вантовый мост
- Кондитерская фабрика «Ударница»
- ООО «Пермнефтегазпереработка»
- Гипермаркет «Семья»
- Санаторий «Архангельское»
- Завод «Топаз»
- Нидан ГРОСС
- ОАО «САН Интербрю»
- Верховный суд РФ
- Аэропорт «Домодедово»
- Новочеркасская ГРЭС
- Московский международный Дом музыки
- Насосная станция г. Долгопрудный
- Подольский водоканал
- Салаватводоканал
- Завод LG



ЧЕРНОГОЛОВСКИЙ ЗАВОД АЛКОГОЛЬНОЙ И БЕЗАЛКОГОЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

г. Черноголовка, Московская обл.

ОПИСАНИЕ:

Черноголовский завод компании «ОСТ-АЛКО» является одним из крупнейших в России предприятий по производству ликеро-водочных изделий, безалкогольных и слабоалкогольных напитков.

Завод оснащен самым современным оборудованием от ведущих мировых производителей.

На территории предприятия в экологически чистом горизонте подземного водного бассейна располагаются три артезианские скважины: одна глубиной 105 метров и две по 170 метров. Вода из скважин проходит обязательную многоступенчатую очистку от механических и химических примесей.

ОБОРУДОВАНИЕ ГРУНДФОС:

Насосы системы ГВС:

- LM 80-200/180 A-F-A-BBUE
- LP 80-200/180 A-F-A-BBUE

Подпитка системы отопления:

2 насоса CR 4-100 A-F-A-AUUE

Система обратного осмоса:

- CR 32-14 A-F-K-AUUE
- DMS

Насосы питательной воды котла CR 30-130.

Система ГВС.

Насосы системы вентиляции LPD 80-125.





КОМПЛЕКС «МОСКВА-СИТИ» (г. Москва)

Офисный комплекс «Башня 2000» является одним из самых высоких офисных зданий в Москве. Конструктивная часть здания выполнена по технологии монолитного строительства, общая площадь помещений — 1 245,00 м². В комплекс входят: ресторан в атриуме и на набережной, бары, боулинг-клуб, подземный гараж, наземная автостоянка.

Инженерно-техническое оснащение комплекса осуществлялось в соответствии с концепцией «Интеллектуального Здания»:

- независимое теплоснабжение;
- центральное кондиционирование воздуха и precisely-вытяжная вентиляция;
- полная автоматизация всех инженерных систем.

В здании применяется разделение на зоны систем отопления, водоснабжения, пожаротушения и ГВС.

Система холодоснабжения работает на все здание. Здесь применены насосы 3 x LPD 125-120, которые работают попеременно. Насосы отключаются по мере нагревания охлаждающей жидкости в контуре. На подпитке системы стоит установка: Hydro 2000 MES CR 4-160.

В системе теплоснабжения установлены насосы CLM 125-264. Летом эти насосы отключаются и работают только насосы ГВС – LPD 80-125.

В системе кондиционирования установлены насосы 3 x CLM 200-290, которые работают попеременно и отключаются по мере нагревания хладагента.

Система пожаротушения:

- насос-жокей CR 4;
- 1 зона: 2 насоса CR 45-8 – спринклерное пожаротушение + 2 насоса NK 80 (основной и резервный) на тушение гидрантами до 16 этажа;
- 2 зона: спринклерное пожаротушение CR 64 + 2 насоса CV125 (основной и резервный) на тушение гидрантами с 16 по 30 этаж;
- 3 зона: 2 насоса NK 80 (основной и резервный) на тушение гидрантами и спринклерное пожаротушение нижних этажи и автостоянки.

Канализация: применены установки Multilift MD. В здании их установлено 5 штук: 3 установки обслуживают нижние этажи и 2 – верхние.

Холодное водоснабжение:

- 1 зона — до 2 этажа Hydro 2000 MF 3 CR32-2
- 2 зона — до 16 этажа Hydro 2000 MF 3 CR8-100
- 3 зона — до 30 этажа Hydro 2000 MF 3 CR8-140



Крышная котельная

В здании установлена отдельная котельная на отопление зимнего сада. Это самая крупная крышная котельная в Европе. Здесь установлены насосы UPS 32-120/F.

Общая площадь проекта
Разработка проекта

150.000 м²
«Моспроект-2»

ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СТАНЦИИ АЭРАЦИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

остров Белый

ОПИСАНИЕ:

Очистные сооружения Центральной станции аэрации Санкт-Петербурга находятся на искусственно намытом острове Белый. Площадь застройки 57 га.

Станция введена в эксплуатацию в 1978 г. Полная мощность составляет 1,5 млн. куб. м очищенной воды в сутки.

В ходе переоборудования станции на ней были установлены 12 насосов S3 658 E3 (65 кВт каждый, сухая установка) на сооружениях биологической очистки для обеспечения циркуляции активного ила.

В результате переоборудования станции:

- увеличена общая эффективность и надежность работы канализационной станции
- значительно снизились расходы на электроэнергию и техническое обслуживание

ОБОРУДОВАНИЕ ГРУНДФОС:

Рабочее колесо:

Трехканальное свободно-вихревое

Эл. двигатель:

65 кВт, 8-полюсный, 3 х 380 В, 50 Гц, (700 об/мин)





РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ БОЛЬШОЙ ТЕАТР

г. Москва

ОПИСАНИЕ:

История Большого театра, который отмечает свое 225-летие, столь величественна, столь же и запутана. Театр неоднократно горел, восстанавливался, перестраивался. Изначально свои годы Большой театр отсчитывал с начала XIX века. Его открытие состоялось 6 (18) января 1825 года. Последнее переоборудование и расширение Большого началось в 1994 году. Сейчас площадь, занимаемая Большим театром, составляет около 70000 м².

Около 70 насосов Грундфос установлены в РГБТ: в системе отопления, кондиционирования, вентиляции, пожаротушения и повышения давления.

Организации, участвующие в проекте:

- Инвестор – Правительство Москвы
- Проект – «Спецавтоматика»

ОБОРУДОВАНИЕ ГРУНДФОС:

Система пожаротушения:

В автоматическую систему пожаротушения входят:

- 7 насосов SP 215-5-2
- 3 насоса SP 77-10

Для пожаротушения с помощью гидрантов

- 2 насоса DNP 65-200/210

Отопление и вентиляция:

- 4 насоса LP
- 2 насоса DNM 32-200
- 2 насоса NK 80-315
- 40 насосов UPS(D)

Дренаж:

- 5 насосов AP 10

Система диспетчеризации здания:

- Control 2000



ЗАВОД «ПЕПСИ-КОЛА», КОТЕЛЬНАЯ

г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 13

ОРГАНИЗАЦИИ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ПРОЕКТЕ:

- Организация-заказчик: «Пепси Боттлинг Групп»
- Поставка насоса – фирма ЗАО «Акватерм»
- Настройка шкафа управления – фирма ЗАО «Акватерм»

ОБОРУДОВАНИЕ ГРУНДФОС:

- CR 4-50 – циркуляционный насос системы вентиляции, 1,1 кВт, 1 шт.
- LP 50-200/185, 4 кВт, 1 шт. – система циркуляции отопления
- CR 4-60, 1,1 кВт, 4 шт. – система циркуляции котла
- CR 2-40, 0,55 кВт, 1 шт., – подготовка воды для нужд производства
- CR 16-3, 3,0 кВт, 1 шт., – подача сиропа в теплообменник для охлаждения





БАЛТИЙСКИЙ БАЛКЕРНЫЙ ТЕРМИНАЛ

г. Санкт-Петербург

ОПИСАНИЕ:

Перегрузочный комплекс минеральных удобрений в морском торговом порту Санкт-Петербурга.

ОРГАНИЗАЦИИ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ПРОЕКТЕ:

- Организация-заказчик: ЗАО «Балтийский Балкерный Терминал»
- Подрядчик и поставщик – ЗАО «Промэнерго», Санкт-Петербург

ОБОРУДОВАНИЕ ГРУНДФОС:

Смонтировано 4 погружных насоса SP 215-5A N (GRUNDFOS) – 3 рабочих, 1 резервный.

Номинальные характеристики одного насоса:

производительность (Q)	66,7 л/с
напор (H)	100,0 м.в.ст.
мощность (P2)	92 кВт

Водозабор происходит из залива через специальные водоприемные колодцы, оборудованные под зданием насосной станции первого подъема. Разбор на противопожарные цели осуществляется из кольцевого пожарного трубопровода, находящегося под давлением. При снижении давления в напорном коллекторе либо по внешнему командному импульсу происходит включение насосов. Для предотвращения гидравлических ударов в сети в момент включения насосов в комплект включены мембранные гидробаки и автоматически открывающиеся при пуске электрозадвижки. Для поддержания давления в сети в режиме ожидания (9-10 кг/см²) используется вспомогательный насос SP 5A-25 N.

Каждый насос комплектуется шкафом управления с блоком SPCU-3 93.0-188.0 SD. Выдача сигналов на пуск основных насосов, последовательность включения насосов, необходимость запуска резервного насоса определяются устройствами, входящими в состав панели управления насосами (ПУН). В комплект устройств автоматизации входит также пульт контроля.



ВАНТОВЫЙ МОСТ

г. Санкт-Петербург

ОПИСАНИЕ:

Первая очередь кольцевой автомобильной дороги вокруг г. Санкт-Петербурга. Мостовой переход через реку Неву (вантовый мост).

ОРГАНИЗАЦИИ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ПРОЕКТЕ:

- Организация-заказчик: Московская территориальная фирма Мостоотряд 114, ОАО «Мостотрест»
- Подрядчик — ЗАО «Промэнерго», Санкт-Петербург

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА И ПОСТАВЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ:

Водозабор происходит из реки Невы через специальные водоприемные скважины, оборудованные под пирсом. Разбор на противопожарные цели осуществляется из подающих трубопроводов, расположенных в шахтах пирса. Подключение пожарных шлангов к подающим трубопроводам предусмотрено через шторц-соединение, находящееся под люком колодца.

ОБОРУДОВАНИЕ ГРУНДФОС:

- Два насоса SP 77-5 с двигателем 18,5 кВт, включение по схеме «звезда-треугольник»
- Принадлежности для насосов SP 77-5 в комплекте:
 - защитный кожух, 1 шт.;
 - фильтр (сетка), 1 шт.;
 - переходной фланец R5 x 100, 1 шт.;
 - манометр;
 - кабельная муфта КМА, 2 шт.;
 - хомуты крепления кабеля, 1 компл.;
 - кабель для подключения 4 x 10 мм²,
 - 2 x 5 п.м. = 10 п.м.





КОНДИТЕРСКАЯ ФАБРИКА «УДАРНИЦА»

г. Москва, ул. Шаболовка, 13

ОПИСАНИЕ:

Кондитерская фабрика «Ударница» была основана в 1929 году и на протяжении многих лет входит в число крупнейших предприятий кондитерского рынка России. Фабрика обладает уникальной специализацией по выпуску зефира, мармелада и пастилы и является абсолютным лидером рынка, постоянно укрепляя свои позиции. На протяжении всей своей истории марка «Ударницы» является символом высочайшего качества продукции. Продукцию фабрики знают и любят по всей России и во многих странах мира. В 2004 году «Ударница» отметила 75-летний юбилей.

ОБОРУДОВАНИЕ ГРУНДФОС:

Дренаж:

насосы POMONA

Пожаротушение:

2 насоса CV 125-10

Отопление:

CR 90, CR 45, CR 32

Конденсатные насосы:

3 x CR 32-2



ООО «ПЕРМНЕФТЕГАЗПЕРЕРЕБОТКА», КОТЕЛЬНАЯ

г. Пермь

ОПИСАНИЕ:

Установка (котельная) по выработке технологического пара для производственных нужд ООО «Пермнефтегазпереработка». Производительность — более 90 тонн пара в час, температура пара — до 195 °С, давление пара — до 14 кгс. Вырабатываемый пар используется как для основных технологических процессов, так и для вспомогательных производственных систем (отопление). ООО «Пермнефтегазпереработка», созданное в 1968 году, является крупным российским предприятием по переработке попутного нефтяного газа, долгое время считавшегося малопригодным для утилизации и использования в народном хозяйстве, с получением ценного сырья для химической промышленности. Объект введен в эксплуатацию в марте 1997 года.

Надёжную и экономичную работу системы производства технологического пара на предприятии обеспечивают более 15 насосов фирмы Грундфос. Насосы интегрированы в автоматическую систему управления и регулирования технологических процессов на объекте. Сервисное обслуживание оборудования Грундфос осуществляет ООО «НАСОСМАРКЕТ» г. Пермь

ОБОРУДОВАНИЕ ГРУНДФОС:

Система перекачки конденсата:

- 4 x CR 30-30

Система перекачки питательной воды для котлов:

- 5 x CR 30-160/15
- 1 x CR 65-160

Система подпитки сырой водой:

- 2 x LP 100-160

Система водоподготовки (подачи соляного раствора для установки обратного осмоса):

- 1 x CHI 4-30

Система отопления объекта:

- 2 x UPS 80-120





ГИПЕРМАРКЕТ «Семья», г. Пермь

Самый большой торговый комплекс на территории Пермского края — Гипермаркет «Семья», находящийся в центре г. Перми на пересечении основных транспортных магистралей (ул. Революции, 13). Введен в эксплуатацию 1 апреля 2004 года. Строительство осуществляла турецкая фирма «SUMMA». Общая стоимость объекта — 725 млн. рублей. Общая площадь объекта составляет 30 000 м², и он состоит из трех блоков: торговая промышленная галерея — 4 этажа, 15 000 м², супермаркет — 1 этаж, 5 000 м² и вспомогательные офисные помещения — 3 этажа, 10 000 м². Площадь прилегающей парковки рассчитана на 600 автомобилей. Ежедневно гипермаркет посещают более 10 000 человек.

Надёжную, экономичную и бесшумную работу систем отопления, кондиционирования, пожаротушения, горячего и холодного водоснабжения этого комплекса обеспечивают более 40 насосов фирмы Грундфос. Они включены в автоматическую систему управления и регулирования инженерных коммуникаций объекта. **Сервисное обслуживание оборудования Грундфос осуществляет ООО «НАСОСМАРКЕТ» г. Пермь**

ОБОРУДОВАНИЕ ГРУНДФОС:

Система водоснабжения:

- 5 x LP 100-160/168
- 2 x CHV 4-50
- 1 x Hydro 1000 G CS 3 CR 16-60
- 1 x Hydro 1000 G CS 2 CR 16-40

Система отопления:

- 4 x LP 65-125/104
- 6 x UPS 65-120
- 2 x UPS 50-180
- 2 x UPS 65-180
- 2 x LM 80-200/187

Система кондиционирования-отопления (климат контроль АНУ):

- 1 x LPD 65-125/132
- 2 x LPD 80-125/117
- 1 x LPD 80-125/128
- 1 x LPD 100-125/124
- 1 x TPD 40-190/2
- 3 x TPD 40-230/2

Система пожаротушения:

- 3 x NK 100-200
- 1 x Hydro 1000 G CS 1 CR 3-15
- Автоматизированная система пожаротушения с применением шкафа управления Control 2000



САНАТОРИЙ «АРХАНГЕЛЬСКОЕ»

Московская область

ОПИСАНИЕ:

Центральный военный клинический санаторий Министерства обороны «Архангельское» расположен к западу от Москвы на берегу Москвы-реки в живописной заповедной зоне на территории музея-усадьбы Голицыных-Юсуповых.

Нынешняя история санатория ведет отсчет с 1933 года, когда здесь был организован дом отдыха РККА для старшего и высшего начальствующего состава.

«Архангельское» – климатический курорт, одна из лучших здравниц Минобороны. За долгий период работы по восстановлению здоровья военнослужащих прошли лечение более 400 тысяч человек.

На территории санатория имеются: собственный источник минеральной воды, а также бассейн с морской водой.

Для добычи соленой воды подземного моря используется насос SP, а для циркуляции морской воды в бассейне — 4 титановых насоса CRT.





ЗАВОД «ТОПАЗ»

г. Пушкино, Московская обл.

Ликеро-водочный завод «Топаз» был основан в 1995 году. Продукция, высокое качество которой отмечено российскими и зарубежными специалистами и потребителями; вложение средств в науку и внедрение в производство последних разработок ученых, — стиль работы «Топаз» с первых дней его существования. Один из самых современных и технически оснащенных в отрасли, «Топаз» уверенно держит марку передового ликеро-водочного предприятия.

В 2004 г. был введен в строй новый интегрированный административно-производственный комплекс, состоящий из цехов розлива, склада стеклотары и комплектующих, механизированных складов готовой продукции. В новом комплексе смонтированы и пущены в производство 2 линии розлива общей мощностью 1100 дал/час. Идет монтаж еще одной автоматической линии розлива производительностью 500 дал/час. Полное задействование производственных площадей нового цеха розлива позволило удвоить мощности «Топаз», доведя суммарную мощность предприятия до 4,5 млн. дал ликеро-водочных напитков в год.

УСТАНОВЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Многоступенчатые насосы

- CR, в системах повышения давления, водоснабжения, на охлаждении теплообменников, на установках умягчения воды
- CRI — подача спирта
- CRN — перекачивание готового продукта, розлив



НИДАН ГРОСС

Московская обл.

ОПИСАНИЕ

Завод принадлежит компании «НИДАН», которая входит в четверку лидеров российского сокового рынка. На новом заводе разливаются соки «Чемпион», «Моя семья», «Да!» и «Каприз», а также бренд «Тропикана» компании «Pepsi-Cola».

Завод находится в поселке Котельники Московской области и является самым крупным в Центральной России предприятием по производству соков и соковой продукции. Мощность завода — 1 млн. литров в сутки.

УСТАНОВЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Насосы Hilge — купаж, CIP-мойка, розлив соков
CR — системы водоподготовки





ОАО «САН ИНТЕРБРЮ»

ФИЛИАЛ ОАО «САН ИНТЕРБРЮ»

г. Волжский

ОПИСАНИЕ

Филиал ОАО «САН Интербрю» в г. Волжский — одно из крупнейших пивоваренных предприятий Юга России.

ПРОДУКЦИЯ:

«Волжанин», «Клинское», «Сибирская корона», «Толстяк», «Жигулевское», «БАГ БИР». Помимо пива, на заводе производится солод.

Инвестиции «САН Интербрю» позволили серьезно расширить, реконструировать и модернизировать производство. В 2005 году производственные мощности предприятия были выведены на новый уровень. На заводе установлен новый варочный порядок, линия розлива на 50 тыс. бут/час.

УСТАНОВЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Насосы Hilge — перекачивание пива и сырья
CR — системы водоподготовки

ЗАО «САРАНСКАЯ ПИВОВАРЕННАЯ КОМПАНИЯ»

Республика Мордовия

Саранская пивоваренная компания входит в составе пивоваренного холдинга «САН Интербрю» и является одним из ключевых источников налоговых поступлений для Республики Мордовия.

В 2001 году здесь было начато переоборудование производства. При подборе дозирующего оборудования на СІР-мойки руководство предприятия остановило свой выбор на дозирующих насосах Grundfos DMM, а в качестве поставщика комплектных установок была выбрана Солид-Системс.



ВЕРХОВНЫЙ СУД РФ

Москва, Поварская, 15

ОПИСАНИЕ

Новое здание Верховного суда можно назвать «интеллектуальным» — оно оснащено всеми современными инженерными и телекоммуникационными системами. Комплекс зданий площадью 50,5 тыс. кв. м включает зал пленума, президиума, 12 залов для судебных заседаний, а также архив, где может храниться до 1 млн. документов

На четырех подземных этажах расположены убежища гражданской обороны, гараж на 120 машин с автомастерскими, технические помещения. Комплекс зданий оснащен самым современным инженерным оборудованием. Все инженерные системы связаны в единую систему диспетчеризации и контролируются из центрального пункта.

Проект был разработан институтом «СантехНИИпроект». Монтаж оборудования – компании «Термек» и «Урбан».

УСТАНОВЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Насосы:

UPS серии 200 — циркуляция в системе отопления.

CR — системы пожаротушения, подпитки системы отопления.

TP — системы теплоснабжения и вентиляции.





АЭРОПОРТ «ДОМОДЕДОВО»

Московская обл., Домодедовский р-н

ОПИСАНИЕ

Аэропорт «Домодедово» на сегодняшний день занимает лидирующую позицию по пассажирским перевозкам в Московском авиаузле.

Для того чтобы аэропорт соответствовал европейским стандартам, была начата его реконструкция, в ходе которой он полностью изменил свой внутренний и внешний облик, также были модернизированы все процессы, связанные с обслуживанием пассажиров и инженерные коммуникации.

На данный момент комплекс «Домодедово» — единственный в России терминал, соответствующий международному стандарту ISO.

УСТАНОВЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Насосы UPS(D) в системах отопления и вентиляции.
CR — система водоснабжения, подпитка системы отопления.
TPD — системы кондиционирования и вентиляции.

Поставка оборудования — компания Гидроланс.

ГИДРОЛАНС  **HYDROLANCE**



НОВОЧЕРКАССКАЯ ГРЭС

ОПИСАНИЕ

ОАО «Новочеркасская ГРЭС» — самый крупный источник генерации электроэнергии в Ростовской области, обеспечивающий электроэнергией наиболее промышленно-развитую юго-западную часть области. Установленная тепловая мощность ГРЭС составляет 75 Гкал/час.

Для очистки воды в системе водоподготовки на ГРЭС применен обратный осмос. В химическом цехе смонтировано 3 блока обратного осмоса общей производительностью 150 м³/ч. В каждый блок входят: узел дозирования ингибитора солеотложения, узел фильтрации, насосы высокого давления и мембранный модуль. Все 3 блока объединены в единую систему.

УСТАНОВЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Система обратного осмоса
- Насосы CR 90
- Насосы-дозаторы DME



Поставка оборудования —
компания МЕДИАНА-фильтр

Научно - производственная компания
МЕДИАНА - ФИЛЬТР
www.mediana-filter.ru



МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ДОМ МУЗЫКИ

Москва, Космодамианская набережная, 52

ОПИСАНИЕ

Комплекс площадью ок. 40 тыс. кв м., три больших зрительных зала, офисные и торговые площади.

Все примененное оборудование оснащено частотно-регулируемыми электродвигателями. Это позволило организовать единую систему диспетчеризации комплекса. Насосы включены в общую систему управления через шкафы управления Control 2000.

УСТАНОВЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

CR — системы водоснабжения, подпитки системы отопления и пожаротушения.

ТР — системы кондиционирования, отопления и вентиляции, а также в системах тепловых завес.



НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ

г. Долгопрудный, Центральный микрорайон

ОПИСАНИЕ

Комплекс Центрального микрорайона включает в себя жилые и административные здания, школу, магазины. Насосная станция обслуживает 4 многоэтажных жилых дома

УСТАНОВЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- 3 x Hydro 2000 ME
- 4 x Hydro MX D001

Первая поставка Hydro MX, изготовленной на заводе Grundfos в Московской области.

Установки обеспечивают защиту жилых зданий от опасности возникновения пожара.



Проект, монтаж и комплектация
ООО «Теплоперспектива»



ПОДОЛЬСКИЙ ВОДОКАНАЛ

Московская область

ОПИСАНИЕ

Подольский водоканал обслуживает 920 предприятий и 5200 жилых домов. Система водоснабжения г. Подольска включает 97 артезианских скважин. Ежедневно в город подается 100 тыс м³ питьевой воды и отводится 120 тыс м³ стоков.

Для оптимизации процессов водоотведения и водоснабжения, снижения потерь и энергопотребления на Подольском водоканале была организована система диспетчеризации. На сегодняшний день подобную систему можно организовать только с использованием современного компьютерного и насосного оборудования, позволяющего максимально автоматизировать все процессы в инженерных системах города.

Именно поэтому руководством водоканала было выбрано оборудование Grundfos.

УСТАНОВЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Канализационные насосы S
- Комплектные КНС с пластмассовыми и бетонными колодцами на базе насосов с режущим механизмом SEG
- Установки Hydro 2000
- Многоступенчатые насосы CR
- Шкафы управления



САЛАВАТВОДОКАНАЛ

Республика Башкортостан

ОПИСАНИЕ

Предприятие «Салаватводоканал» обеспечивает хозяйственно-питьевой водой население и промышленные предприятия городов Салават, Стерлитамак, Ишимбай и отвод стоков с очистных сооружений ОАО «Салаватнеф்த்தоргсинтез». Проект, монтаж и комплектация ООО «ППП».

УСТАНОВЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Скважинные насосы SP со шкафами управления в системах артезианского водозабора и водоснабжения
- Установки Hydro 2000 и Hydro Multi –Е в городской водопроводной сети
- Многоступенчатые насосы CR





ЗАВОД LG

Московская обл.

ОПИСАНИЕ

В 2006 г. в поселке Дорохово Рузского района Подмосковья состоялось торжественное открытие завода южнокорейской компании LG Electronics.

Завод LG занял территорию в 50 Га. В настоящее время производство начато в четырех корпусах. Наложена сборка домашних кинотеатров, телевизоров, холодильников и стиральных машин.

Поставка оборудования — компания «Гидропанс». В системах водоснабжения и повышения давления используются насосы CR.

Отопление и ГВС осуществляются с помощью пара, получаемого на энергоблоке завода. Отвод конденсата системы производится также насосами CR

ГИДРОПАНС  **HYDROLANCE**



Приложения

- A. Условные обозначения и единицы измерения
- B. Таблицы перевода единиц измерения
- C. Приставки в системе СИ и греческий алфавит
- D. Давление насыщенного пара и плотность воды при различных температурах
- E. Дроссельное регулирование
- F. Изменение статического давления вследствие изменения диаметра трубопровода
- G. Сопло
- H. Периодическая система Менделеева
- I. Номограмма потерь напора в коленах, клапанах и т. д.
- J. Номограмма потерь на трение в трубопроводе для чистой воды при температуре 20°C
- K. Стандарты насосов
- L. Зависимость вязкости жидкостей от температуры

Условные обозначения и единицы измерения

В таблице ниже представлены наиболее часто используемые условные обозначения и единицы измерения, касающиеся работы насосов и насосных систем.

Обозначение	Единица измерения	Другие используемые единицы	Название	Примечания
	Единицы СИ			
H	м		Напор	
Q	м³/с	м³/ч, л/с	Объемный расход	
Qм	кг/с	кг/ч	Весовой расход	
p	Па = Н/м²	гПа, кПа, бар	Давление	1 бар = 10 ⁵ Па
Δp	Па	кПа, бар	Перепад давления	
NPSH	м		Кавитационный запас	
ρ	кг/м³	кг/дм³	Плотность	
ν	м²/с	сСт (сантистокс), мм²/с	Кинематическая вязкость	1 сСт = 10 ⁻⁶ м²/с
μ	Па•с	Пуаз	Динамическая вязкость	1 пуаз = 0,1 Па•с
t	°C	°F	Температура	
T	К		Абсолютная температура	
d	м	мм	Диаметр	
D	м	мм	Диаметр	
g	м/с²		Ускорение свободного падения	g = 9,81 м/с²
v	м/с		Скорость	
η		%	КПД (коэффициент полезного действия)	
n	с ⁻¹	мин ⁻¹ , об/мин	Скорость вращения	
t	с	мин, ч	Время	
P	Вт	кВт	Мощность	
U	В		Напряжение	
I	А		Сила тока	
f	Гц		Частота	
Cos φ			Косинус φ	
PF			Коэффициент мощности	

Таблица перевода
единиц измерения

Таблицы для перевода давления и расхода.

Давление

	Паскаль (= Ньютон на квадрат- ный метр)	бар	Килофунт на квадратный метр	Высота водяного столба	Техническая атмосфера	Физическая атмосфера	Фунт на квадратный дюйм
	Па, (Н/м²)	бар	килофунт/м²	м вод. ст.	атм (кп/см²)	атм	psi (фунт/дюйм²)
1 Па	1	10 ⁵	0,1020	1,020•10 ⁻⁴	1,020•10 ⁻⁵	9,869•10 ⁻⁴	1,450•10 ⁻⁴
1 бар	10 ⁵	1	10197	10,20	1,020	0,9869	14,50
1 кп/м²	9,8067	9,807•10 ⁵	1	10 ⁻³	10 ⁻⁴	0,9678•10 ⁻⁴	1,422•10 ⁻³
1 м вод. ст.	9806,7	0,09807	10 ³	1	0,1	0,09678	1,422
1 ат	98067	0,9807	10 ⁴	10	1	0,9678	14,22
1 атм	101325	1,013	10333	10,33	1,033	1	14,70
1 psi	6895	0,06895	703,1	0,7031	0,07031	0,06804	1

Расход (объемный)

	Кубический метр в секунду	Кубический метр в час	Литр в секунду	Галлон (британский) в минуту	Галлон (американский в минуту)
	м³/с	м³/ч	л/с	UK галлон/мин	US галлон/мин
1 м³/с	1	3600	1000	1320	15651
1 м³/ч	2,778•10 ⁻⁴	1	0,2778	3,667	4,403
1 л/с	10 ⁻³	3,6	1	13,2	15,85
1 UK галлон/мин	7,577•10 ⁻⁵	0,02728	0,07577	1	1,201
1 US галлон/мин	6,309•10 ⁻⁵	0,02271	0,06309	0,8327	1

Температура

Формулы, представленные ниже, показывают соотношение между единицами температур.

Соотношение между шкалой Цельсия и Кельвина: $T(K) = 273,15 + t(^{\circ}C)$

Соотношение между шкалой Цельсия и Фаренгейта: $t(^{\circ}F) = 32 + 1,8 t(^{\circ}C)$

Градусы по Цельсию	Градусы по Кельвину	Градусы по Фаренгейту
°C	K	°F
0	273,15	32
100	373,15	212
-17,8	255,35	0

$\Delta T, \Delta t$	Δt	Δt	Δt
	°C	K	°F
1°C =	1	1	5/9
1 K =	1	1	5/9
1°F =	9/5	9/5	1

Приставки в системе СИ и греческий алфавит

Множитель		Приставка	Обозначение приставки
$10^{(9)}$	1 000 000 000	гига	Г
$10^{(6)}$	1 000 000	мега	М
$10^{(3)}$	1 000	кило	к
$10^{(2)}$	100	гекто	г
10	10	дека	да
$10^{(-1)}$	0,1	деци	д
$10^{(-2)}$	0,01	санتي	с
$10^{(-3)}$	0,001	милли	м
$10^{(-6)}$	0,000001	микро	мк
$10^{(-9)}$	0,000000001	нано	н

Греческий алфавит		
Альфа	Α	α
Бета	Β	β
Гамма	Γ	γ
Дельта	Δ	δ
Эпсилон	Ε	ε
Дзета	Ζ	ζ
Эта	Η	η
Тета	Θ	θ
Йота	Ι	ι
Каппа	Κ	κ
Лямбда	Λ	λ
Ми	Μ	μ
Ни	Ν	ν
Кси	Ξ	ξ
Омикрон	Ο	ο
Пи	Π	π
Ро	Ρ	ρ
Сигма	Σ	ς
Тау	Τ	τ
Ипсилон	Υ	υ
Фи	Φ	φ
Хи	Χ	χ
Пси	Ψ	ψ
Омега	Ω	ω

Давление насыщенного пара и плотность воды при различных температурах

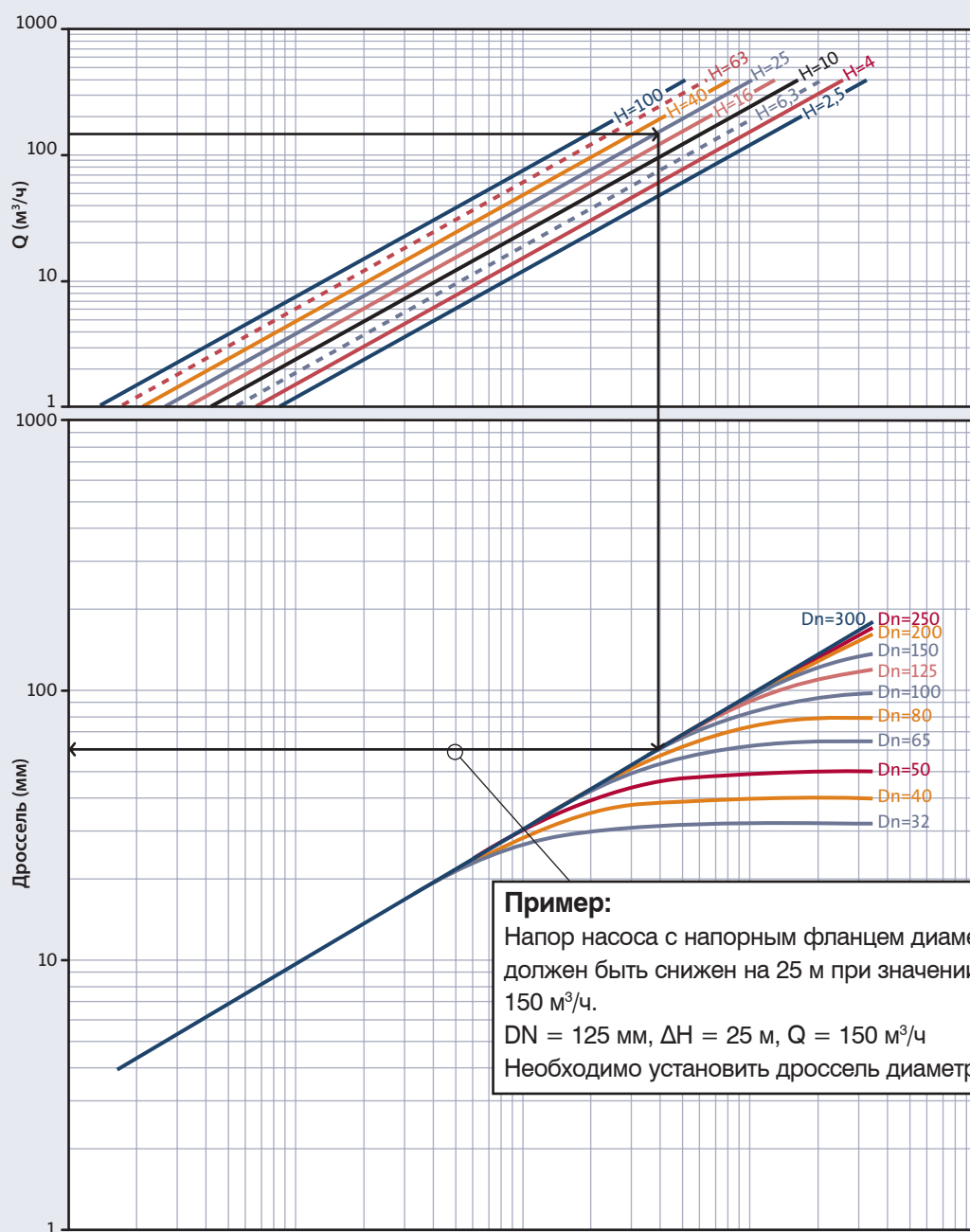
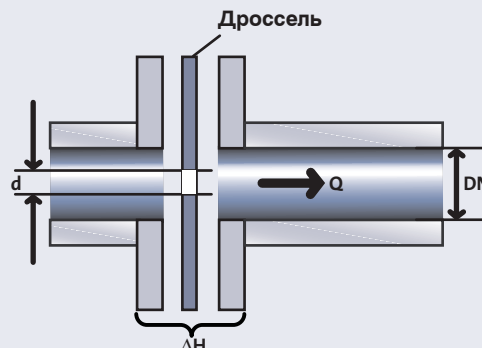
Эта таблица описывает давление насыщенного пара p (бар) и плотность воды ρ (кг/м³) при различных температурах t (°C). В таблице также приведена соответствующая абсолютная температура T (K).

Давление насыщенного пара p и плотность воды ρ при различных температурах											
t (°C)	T (K)	P (бар)	ρ (кг/м³)	t (°C)	T (K)	P (бар)	ρ (кг/м³)	t (°C)	T (K)	P (бар)	ρ (кг/м³)
0	273,15	0,00611	999,8	61	334,15	0,2086	982,6	138	411,15	3,414	927,6
1	274,15	0,00657	999,9	62	335,15	0,2184	982,1	140	413,15	3,614	925,8
2	275,15	0,00706	999,9	63	336,15	0,2286	981,6	145	418,15	4,155	921,4
3	276,15	0,00758	999,9	64	337,15	0,2391	981,1	150	423,15	4,760	916,8
4	277,15	0,00813	1000,0	65	338,15	0,2501	980,5	155	428,15	5,433	912,1
5	278,15	0,00872	1000,0	66	339,15	0,2615	979,9	160	433,15	6,181	907,3
6	279,15	0,00935	1000,0	67	340,15	0,2733	979,3	165	438,15	7,008	902,4
7	280,15	0,01001	999,9	68	341,15	0,2856	978,8	170	443,15	7,920	897,3
8	281,15	0,01072	999,9	69	342,15	0,2984	978,2	175	448,15	8,924	892,1
9	282,15	0,01147	999,8	70	343,15	0,3116	977,7	180	453,15	10,027	886,9
10	283,15	0,01227	999,7	71	344,15	0,3253	977,0	185	458,15	11,233	881,5
11	284,15	0,01312	999,7	72	345,15	0,3396	976,5	190	463,15	12,551	876,0
12	285,15	0,01401	999,6	73	346,15	0,3543	976,0	195	468,15	13,987	870,4
13	286,15	0,01497	999,4	74	347,15	0,3696	975,3	200	473,15	15,50	864,7
14	287,15	0,01597	999,3	75	348,15	0,3855	974,8	205	478,15	17,243	858,8
15	288,15	0,01704	999,2	76	349,15	0,4019	974,1	210	483,15	19,077	852,8
16	289,15	0,01817	999,0	77	350,15	0,4189	973,5	215	488,15	21,060	846,7
17	290,15	0,01936	998,8	78	351,15	0,4365	972,9	220	493,15	23,198	840,3
18	291,15	0,02062	998,7	79	352,15	0,4547	972,3	225	498,15	25,501	833,9
19	292,15	0,02196	998,5	80	353,15	0,4736	971,6	230	503,15	27,976	827,3
20	293,15	0,02337	998,3	81	354,15	0,4931	971,0	235	508,15	30,632	820,5
21	294,15	0,02485	998,1	82	355,15	0,5133	970,4	240	513,15	33,478	813,6
22	295,15	0,02642	997,8	83	356,15	0,5342	969,7	245	518,15	36,523	806,5
23	296,15	0,02808	997,6	84	357,15	0,5557	969,1	250	523,15	39,776	799,2
24	297,15	0,02982	997,4	85	358,15	0,5780	968,4	255	528,15	43,246	791,6
25	298,15	0,03166	997,1	86	359,15	0,6011	967,8	260	533,15	46,943	783,9
26	299,15	0,03360	996,8	87	360,15	0,6249	967,1	265	538,15	50,877	775,9
27	300,15	0,03564	996,6	88	361,15	0,6495	966,5	270	543,15	55,058	767,8
28	301,15	0,03778	996,3	89	362,15	0,6749	965,8	275	548,15	59,496	759,3
29	302,15	0,04004	996,0	90	363,15	0,7011	965,2	280	553,15	64,202	750,5
30	303,15	0,04241	995,7	91	364,15	0,7281	964,4	285	558,15	69,186	741,5
31	304,15	0,04491	995,4	92	365,15	0,7561	963,8	290	563,15	74,461	732,1
32	305,15	0,04753	995,1	93	366,15	0,7849	963,0	295	568,15	80,037	722,3
33	306,15	0,05029	994,7	94	367,15	0,8146	962,4	300	573,15	85,927	712,2
34	307,15	0,05318	994,4	95	368,15	0,8453	961,6	305	578,15	92,144	701,7
35	308,15	0,05622	994,0	96	369,15	0,8769	961,0	310	583,15	98,700	690,6
36	309,15	0,05940	993,7	97	370,15	0,9094	960,2	315	588,15	105,61	679,1
37	310,15	0,06274	993,3	98	371,15	0,9430	959,6	320	593,15	112,89	666,9
38	311,15	0,06624	993,0	99	372,15	0,9776	958,6	325	598,15	120,56	654,1
39	312,15	0,06991	992,7	100	373,15	1,0133	958,1	330	603,15	128,63	640,4
40	313,15	0,07375	992,3	102	375,15	1,0878	956,7	340	613,15	146,05	610,2
41	314,15	0,07777	991,9	104	377,15	1,1668	955,2	350	623,15	165,35	574,3
42	315,15	0,08198	991,5	106	379,15	1,2504	953,7	360	633,15	186,75	527,5
43	316,15	0,08639	991,1	108	381,15	1,3390	952,2	370	643,15	210,54	451,8
44	317,15	0,09100	990,7	110	383,15	1,4327	950,7	374,15	647,30	221,2	315,4
45	318,15	0,09582	990,2	112	385,15	1,5316	949,1				
46	319,15	0,10086	989,8	114	387,15	1,6362	947,6				
47	320,15	0,10612	989,4	116	389,15	1,7465	946,0				
48	321,15	0,11162	988,9	118	391,15	1,8628	944,5				
49	322,15	0,11736	988,4	120	393,15	1,9854	942,9				
50	323,15	0,12335	988,0								
51	324,15	0,12961	987,6	122	395,15	2,1145	941,2				
52	325,15	0,13613	987,1	124	397,15	2,2504	939,6				
53	326,15	0,14293	986,6	126	399,15	2,3933	937,9				
54	327,15	0,15002	986,2	128	401,15	2,5435	936,2				
55	328,15	0,15741	985,7	130	403,15	2,7013	934,6				
56	329,15	0,16511	985,2								
57	330,15	0,17313	984,6	132	405,15	2,8670	932,8				
58	331,15	0,18147	984,2	134	407,15	3,041	931,1				
59	332,15	0,19016	983,7	136	409,15	3,223	929,4				
60	333,15	0,19920	983,2								

Дроссельное регулирование

Как было рассмотрено в главе 3, регулирование рабочей точки насоса производится путем добавления в систему сопротивления. На практике это обычно осуществляется при помощи дросселя на напорной стороне насоса.

Следующая диаграмма показывает диаметр дросселя d (мм), в зависимости от размера патрубка DN (мм), расхода Q (м³/ч) и требуемого снижения напора ΔH (м).



Изменение статического давления вследствие изменения диаметра трубопровода

Как было описано в разделе 2.2, изменение диаметра трубы ведет к изменению скорости жидкости и, следовательно, к изменению статического и динамического давлений.

При определении напора (см. страницу 86) разница диаметров двух патрубков требует корректировки.

К измеряемому напору насоса должна быть добавлена разница ΔH :

$$\Delta H = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2} \cdot \left[\frac{1}{D_2^4} - \frac{1}{D_1^4} \right], \text{ где}$$

v_1 — скорость жидкости во всасывающем патрубке, м/с

v_2 — скорость жидкости в напорном патрубке, м/с

Q — величина расхода, м³/с

g — ускорение свободного падения, м/с²

D_1 — диаметр всасывающего патрубка, м

D_2 — диаметр напорного патрубка, м

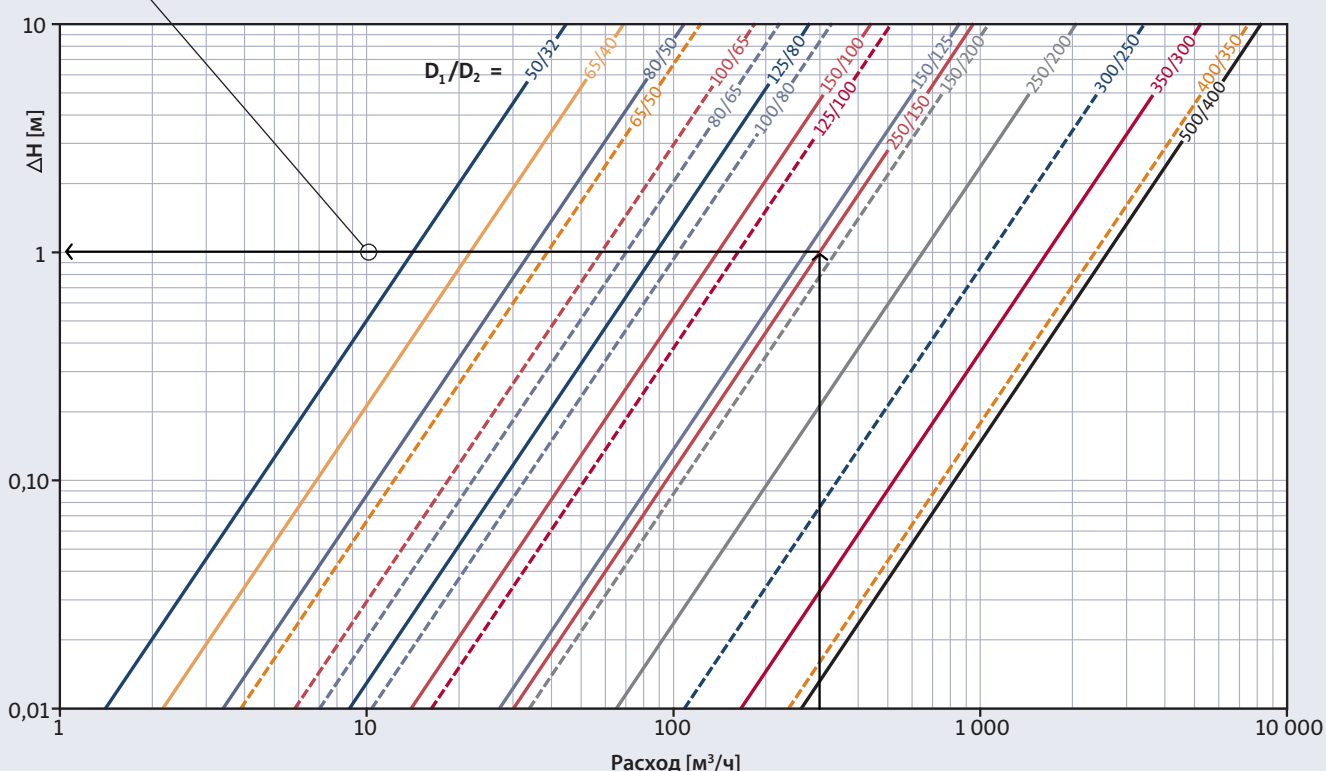
График показывает величину ΔH для типичных размеров патрубков D_1/D_2 , как функцию расхода Q . В этом случае расход Q измеряется в м³/ч и ΔH — в метрах (м).

Пример:

Насос с диаметром входного патрубка 250 мм и напорного — 150 мм перекачивает 300 м³ жидкости в час. Насколько разница в диаметрах патрубков повлияет на изменение измеряемого напора?

$D_1 = 250 \text{ мм}$ $D_2 = 150 \text{ мм}$ $Q = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$

Как видно из графика, разница в напоре ΔH будет составлять 1 м.



Сопло

Связь между диаметром сопла d (мм), потребным расходом Q (м³/ч) и давлением перед соплом p (бар) определяется по номограмме, см. ниже. Предположим, что сопло имеет квадратичную характеристику:

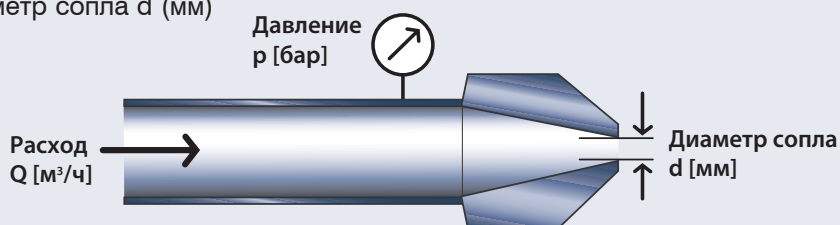
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^n,$$

где $n = 0,5$. Некоторые насадки имеют меньшее значение n (необходимо согласовать с поставщиком).

Расход Q (м³/ч)

Давление p (бар)

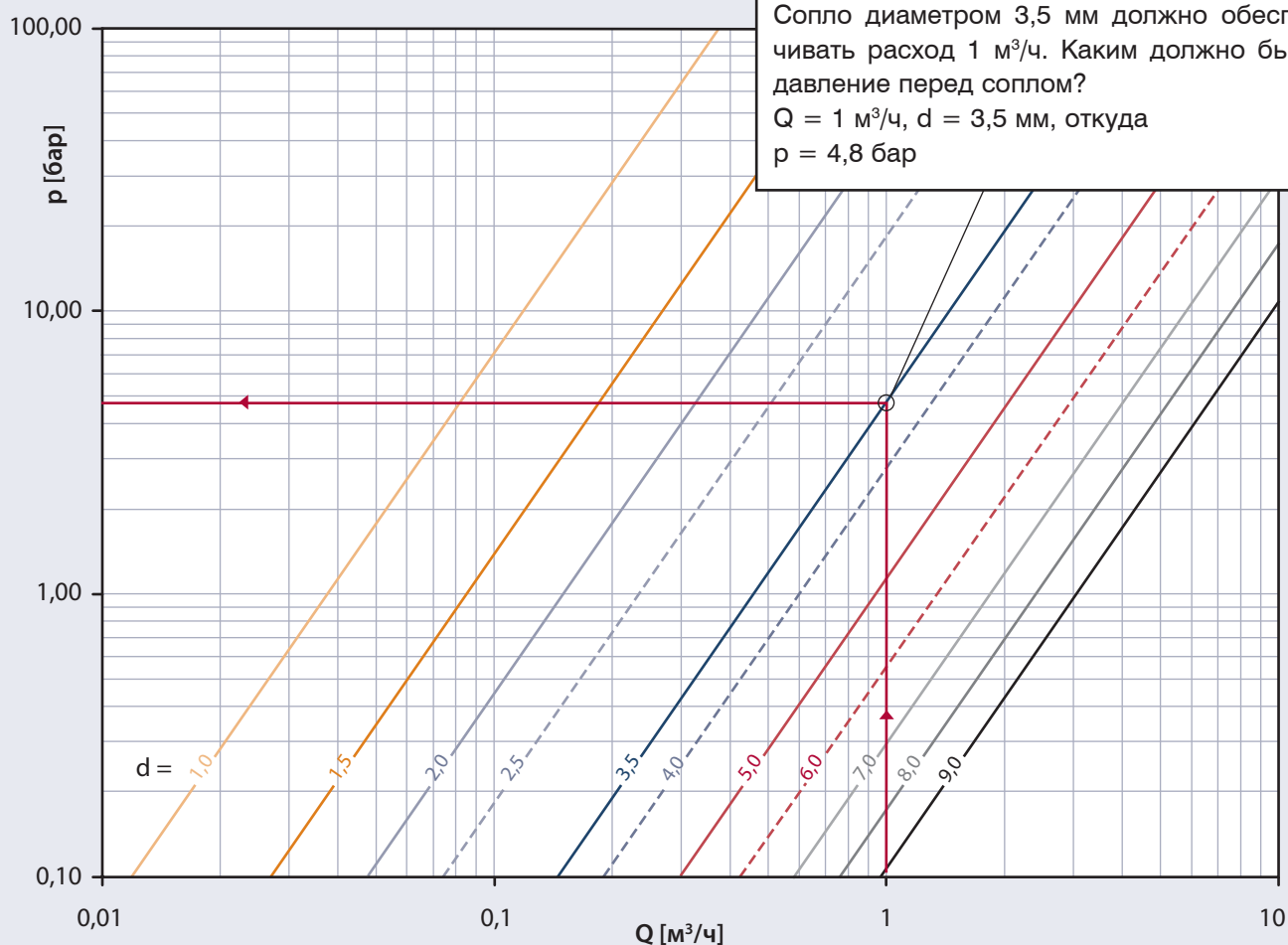
Диаметр сопла d (мм)



Пример:

Сопло диаметром 3,5 мм должно обеспечивать расход 1 м³/ч. Каким должно быть давление перед соплом?

$Q = 1$ м³/ч, $d = 3,5$ мм, откуда $p = 4,8$ бар



Периодическая система Менделеева

периоды	ряды	группы элементов										
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VII			
I	1	1 H 1,00795 водород	ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ							2 He 4,002602 гелий		
II	2	3 Li 6,9412 литий	4 Be 9,01218 бериллий	5 B 10,812 бор	6 C 12,0108 углерод	7 N 14,0067 азот	8 O 15,9994 кислород	9 F 18,99840 фтор	10 Ne 20,179 неон			
III	3	11 Na 22,98977 натрий	12 Mg 24,305 магний	13 Al 26,98154 алюминий	14 Si 28,086 кремний	15 P 30,97376 фосфор	16 S 32,06 сера	17 Cl 35,453 хлор	18 Ar 39,948 аргон			
IV	4	19 K 39,0983 калий	20 Ca 40,08 кальций	21 Sc 44,9559 скандий	22 Ti 47,90 титан	23 V 50,9415 ванадий	24 Cr 51,996 хром	25 Mn 54,9380 марганец	26 Fe 55,847 железо	27 Co 58,9332 кобальт	28 Ni 58,0 никель	
		29 Cu 63,546 медь	30 Zn 65,38 цинк	31 Ga 69,72 галлий	32 Ge 72,59 германий	33 As 74,9216 мышьяк	34 Se 78,96 селен	35 Br 79,904 бром	36 Kr 83,80 криптон			
V	5	37 Rb 85,4678 рубидий	38 Sr 87,62 стронций	39 Y 88,9059 иттрий	40 Zr 91,22 цирконий	41 Nb 92,9064 ниобий	42 Mo 95,94 молибден	43 Tc 98,9062 технеций	44 Ru 101,07 рутений	45 Rh 102,9055 родий	46 Pd 106,4 палладий	
		47 Ag 107,868 серебро	48 Cd 112,41 кадмий	49 In 114,82 индий	50 Sn 118,69 олово	51 Sb 121,75 сурьма	52 Te 127,60 теллур	53 I 126,9045 йод	54 Xe 131,30 ксенон			
VI	6	55 Cs 132,9054 цезий	56 Ba 137,33 барий	57 La 138,9 лантан*	72 Hf 178,49 гафний	73 Ta 180,9479 тантал	74 W 183,85 вольфрам	75 Re 186,207 рений	76 Os 190,2 осмий	77 Ir 192,22 иридий	78 Pt 195,09 платина	
		79 Au 196,9665 золото	80 Hg 200,59 ртуть	81 Tl 204,37 таллий	82 Pb 207,2 свинец	83 Bi 208,9 висмут	84 Po 209 полоний	85 At 210 астат	86 Rn 222 радон			
VII	7	87 Fr 223 франций	88 Ra 226,0 радий	89 Ac 227 актиний**	104 Rf 261 резерфордий	105 Db 262 дубний	106 Sg 266 сиборгий	107 Bh 269 борий	108 Hs 269 хассий	109 Mt 268 мейтнерий	110 Ds 271 дармштадтий	
		111 Rg 272 рентгений	112 285		114 289							

57 La 138,9 лантан	58 Ce 140,1 церий	59 Pr 140,9 празеодим	60 Nd 144,2 неодим	61 Pm 145 прометий	62 Sm 150,4 самарий	63 Eu 151,9 европий	64 Gd 157,3 гадолиний	65 Tb 158,9 тербий	66 Dy 162,5 диспрозий	67 Ho 164,9 гольмий	68 Er 167,3 эрбий	69 Tm 168,9 тулий	70 Yb 173,0 иттербий	71 Lu 174,9 лютеций
89 Ac 227 актиний	90 Th 232,0 торий	91 Pa 231,0 протактиний	92 U 238,0 уран	93 Np 237 нептуний	94 Pu 244 плутоний	95 Am 243 америций	96 Cm 247 кюрий	97 Bk 247 берклий	98 Cf 251 калифорний	99 Es 252 эйнштейний	100 Fm 257 фермий	101 Md 258 менделевий	102 No 259 нобелий	103 Lr 262 лоуренсий

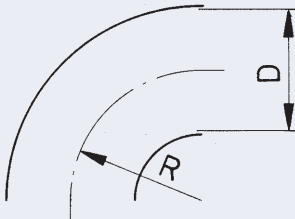
Номограмма потерь напора в коленах, клапанах и т.д.

Q — расход, л/с
D — внутренний диаметр трубы, мм
v — скорость потока жидкости, м/с
 ζ — коэффициент потерь
 H_j — потери напора, м

Пример:
Q = 12 л/с
D = 100 мм
v = 1,55 м/с
 $\Sigma \zeta = 5$
 $H_j = 0,6$ м

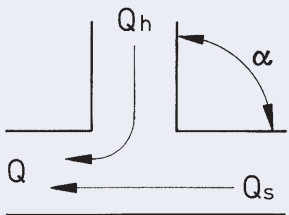
Справочные значения потерь напора в коленах, клапанах и т.д.

- Колено 90°, R/D = 1,5 0,3
- Потери на выходе 1,0 (труба без расширения)
- Поворотный обратный клапан 1...2
- Шаровой обратный клапан 0,7...1,2
- Задвижка 0,2



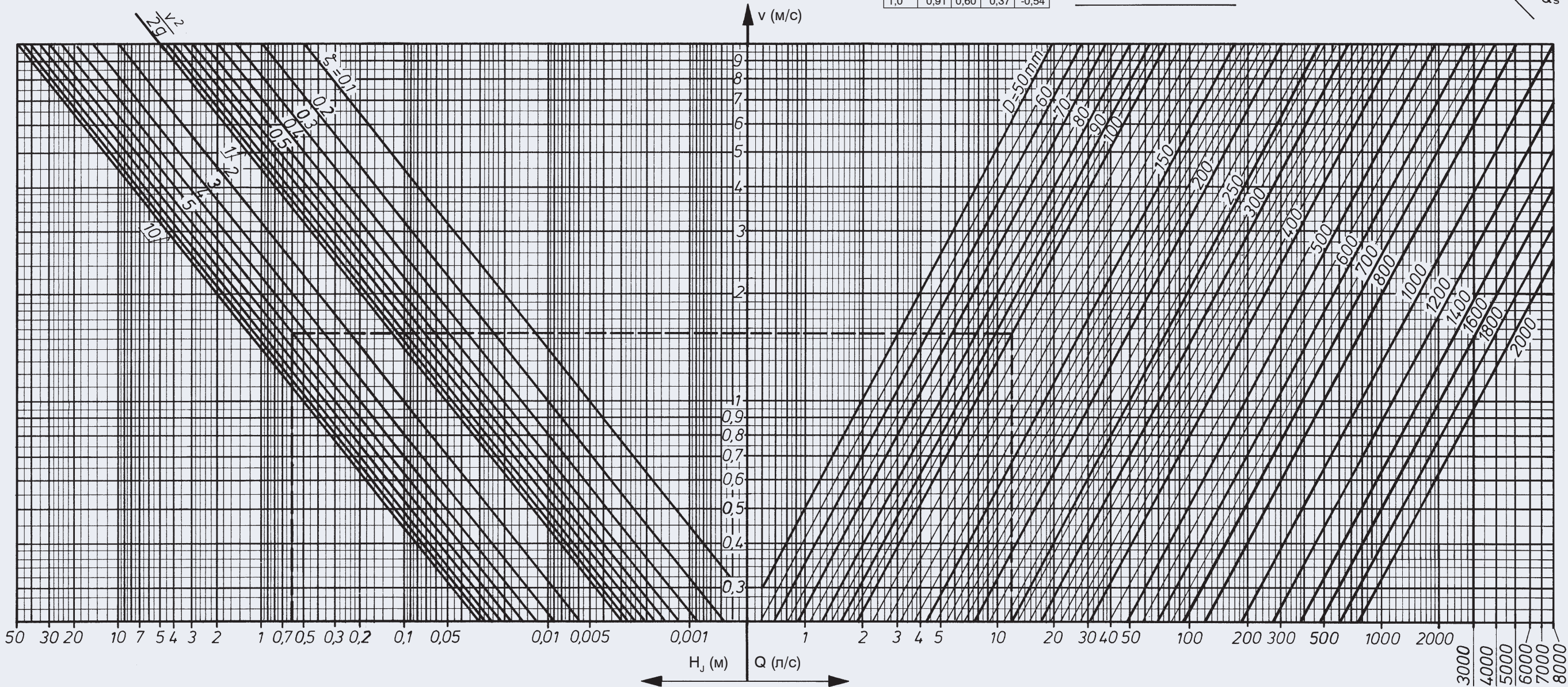
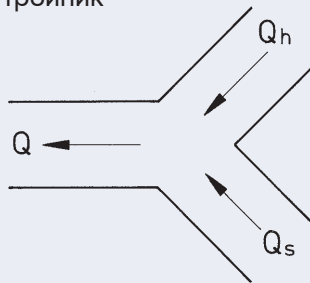
Т-образный тройник

Q_H/Q	$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 45^\circ$	
	ζ_h	ζ_s	ζ_h	ζ_s
0,0	-1,00	0,04	-0,90	0,04
0,2	-0,40	0,17	-0,38	0,17
0,4	0,08	0,30	0,00	0,19
0,6	0,47	0,41	0,22	0,09
0,8	0,72	0,51	0,37	-0,17
1,0	0,91	0,60	0,37	-0,54



Y-образный тройник

Q_H/Q	ζ_h	ζ_s
0,0	—	0,6
0,5	0,3	0,3
1,0	0,6	—



Номограмма потерь на трение в трубопроводе для чистой воды при температуре 20°C

Q — расход, л/с

D — внутренний диаметр трубы, мм

k — коэффициент шероховатости, мм

H_ж — потери напора на 100 м трубопровода

Пример: Q = 12 л/с

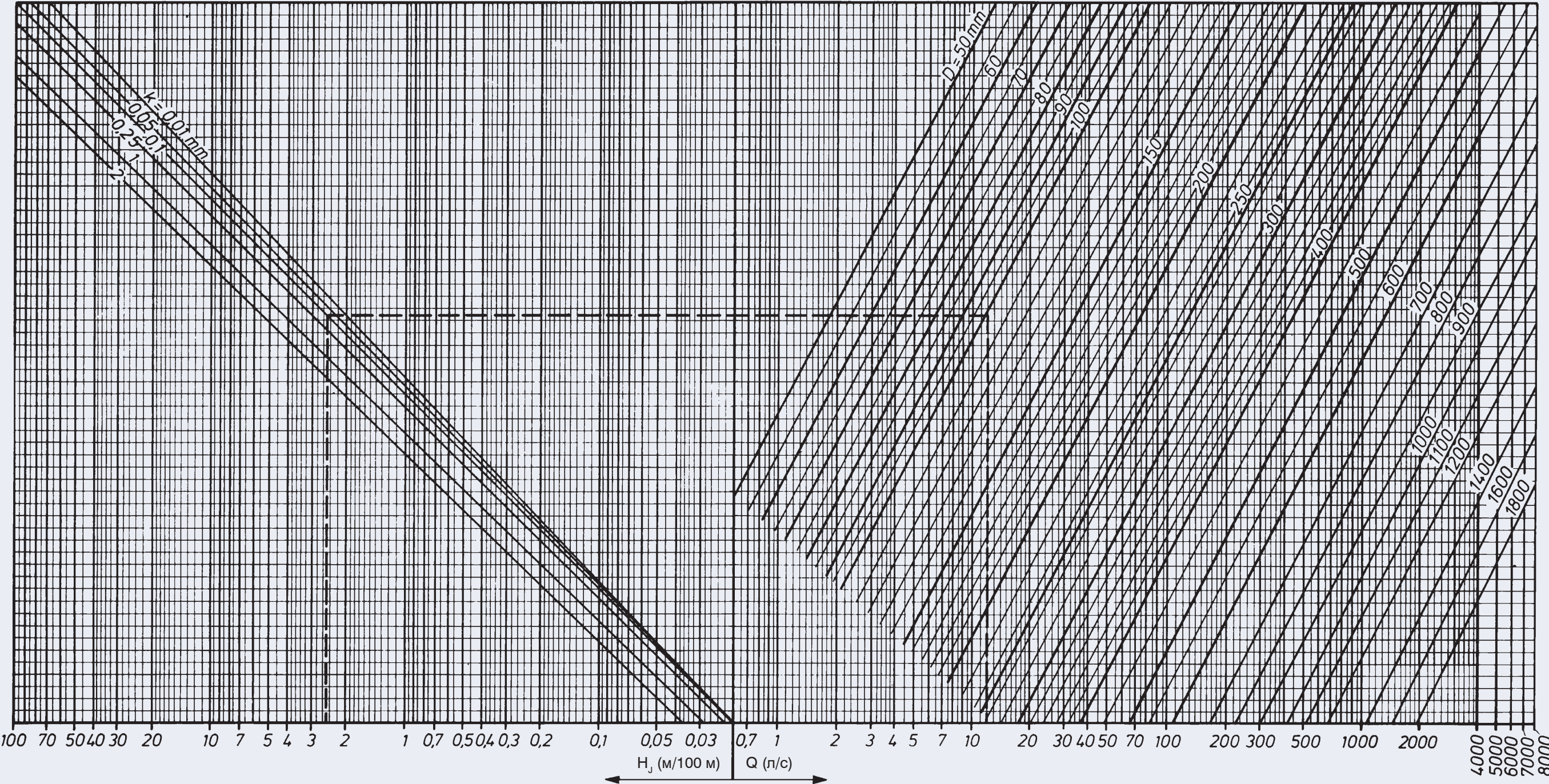
D = 100 мм

k = 0,1 мм

H_ж = 2,5 м / 100 м

Справочные значения коэффициента шероховатости (k) трубопроводов

Материал трубопровода	Коэффициент чистоты поверхности новой трубы k (мм)	Коэффициент чистоты поверхности старой трубы k (мм)
Пластмасса	0,01	0,25
Тянутая сталь	0,05	1,0
Сваренная сталь	0,1	1,0
Тянутая нержавеющая сталь	0,05	0,25
Сваренная нержавеющая сталь	0,1	0,25
Чугун	0,25	1,0
Оцинкованная сталь	0,15	



Стандарты насосов

Стандарты насосов:

EN 733	Центробежные насосы одностороннего всасывания, давление 10 бар
EN 22858	Центробежные насосы одностороннего всасывания, давление 16 бар

Стандарты, относящиеся к насосам:

ISO 3661	Центробежные насосы одностороннего всасывания — плита-основание и основные размеры
EN 12756	Механические уплотнения — основные размеры, маркировка и коды материалов
EN 1092	Фланцы и их соединения — кольцевые фланцы для труб, клапанов, фитингов и других дополнительных принадлежностей, рабочее давление, в PN
ISO 7005	Металлические фланцы
DIN 24296	Насосы и системы для перекачивания жидкостей, запасные части.

Спецификации

ISO 9905	Технические спецификации для центробежных насосов — Класс 1
ISO 5199	Технические спецификации для центробежных насосов — Класс 2
ISO 9908	Технические спецификации для центробежных насосов — Класс 3
ISO 9906	Динамические насосы — испытания на гидравлические рабочие характеристики — Уровень 1 и 2
EN 10204	Металлические компоненты — виды контрольных документов
ISO/FDIC 10816	Механическая вибрация — определение машинной вибрации замером на невращающихся частях

Стандарты для электродвигателей:

EN 60034/IEC 34	Вращающиеся электрические машины
-----------------	----------------------------------

Зависимость вязкости жидкостей от температуры

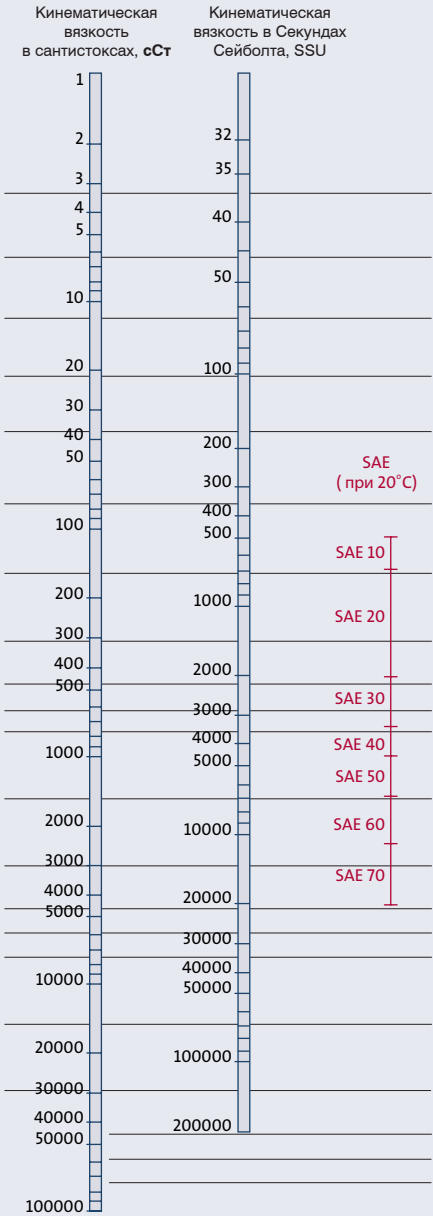
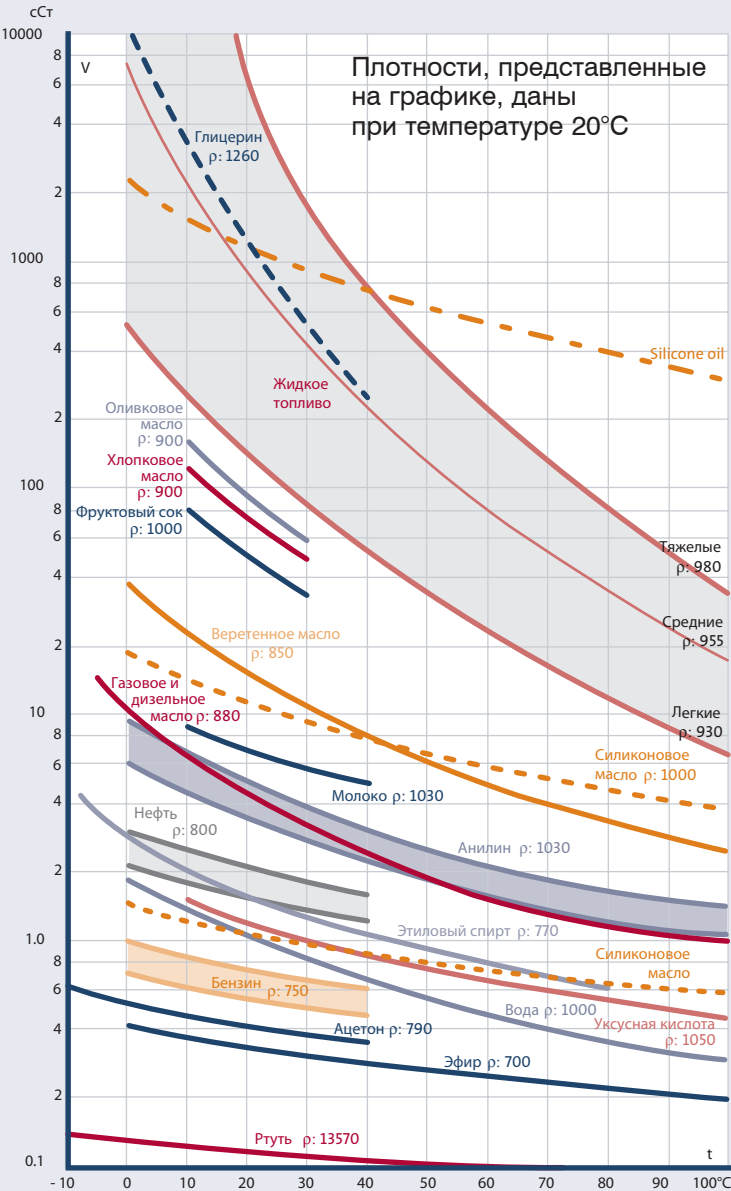
На графике показана вязкость различных жидкостей при различных температурах. Как видно из графика, вязкость жидкости понижается при повышении температуры.

Вязкость

Кинематическая вязкость измеряется в сантистоксах (сСт), (1 сСт = 10⁻⁶ м²/с). Единица измерения (SSU) Секунда Сейболта также используется для измерения кинематической вязкости в США. На графике ниже представлено соотношение между кинематической вязкостью в сСт и в Секундах Сейболта (SSU). На графике также представлена шкала SAE.

Для кинематической вязкости свыше 60 сСт, вязкость в секундах Сейболта рассчитывается по следующей формуле:

$$(SSU) = 4,62 \cdot (сСт)$$



Этиленгликоль

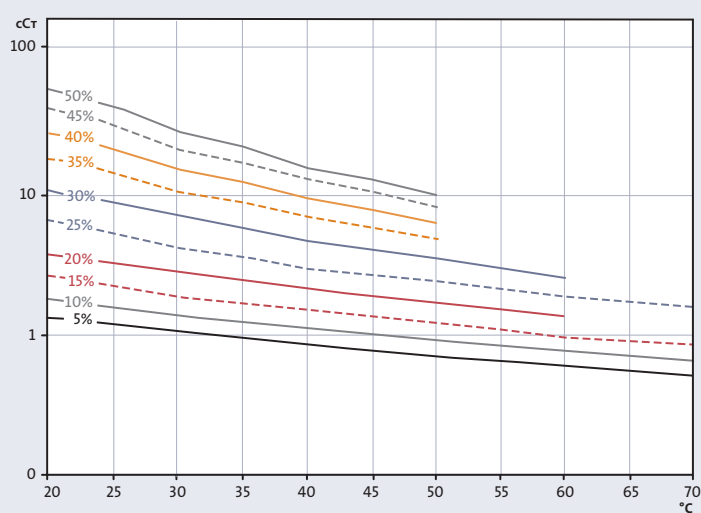
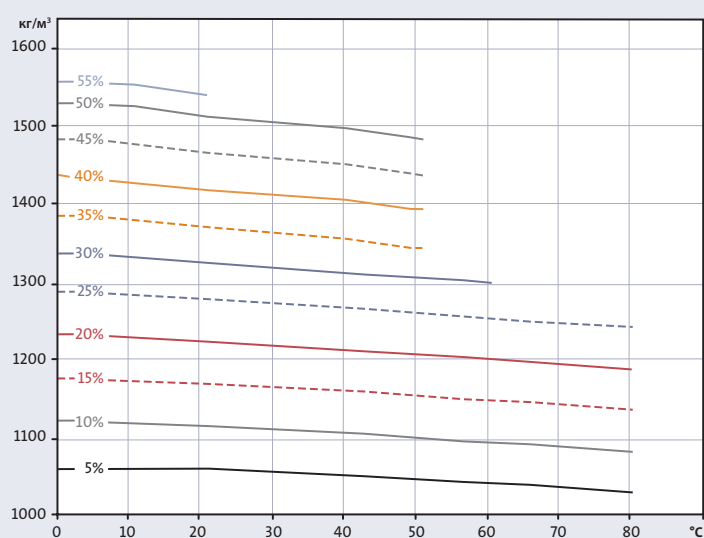
	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν
	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт
Концентрация wt % =	10%		15%		20%		25%		30%		35%		40%		45%		50%		55%		60%	
Температура																						
-50																					1107	259,7
-45																					1106	173,7
-40																			1098	101,2	1105	118,6
-35																	1089	57,3	1097	68,9	1104	82,7
-30															1081	32,3	1089	40,0	1096	48,1	1103	58,8
-25															1080	23,5	1088	28,7	1095	34,4	1102	42,6
-20													1072	14,1	1079	17,4	1086	21,1	1094	25,2	1101	31,5
-15									1055	7,2	1063	8,8	1070	10,9	1078	13,2	1085	15,8	1092	18,8	1099	23,6
-10							1046	4,9	1054	5,8	1062	7,0	1069	8,5	1077	10,2	1084	12,1	1091	14,3	1098	18,0
-5			1028	2,9	1036	3,4	1045	4,0	1053	4,7	1060	5,7	1068	6,8	1075	8,1	1082	9,4	1089	11,1	1096	14,0
0	1018	2,0	1027	2,5	1035	2,9	1043	3,3	1051	3,9	1059	4,7	1066	5,5	1074	6,5	1081	7,5	1088	8,8	1094	11,0
5	1017	1,7	1026	2,1	1034	2,4	1042	2,8	1050	3,3	1057	3,9	1065	4,5	1072	5,3	1079	6,1	1086	7,1	1092	8,8
10	1016	1,5	1024	1,8	1032	2,1	1041	2,4	1048	2,8	1056	3,2	1063	3,8	1070	4,4	1077	5,0	1084	5,8	1090	7,1
15	1014	1,3	1023	1,6	1031	1,8	1039	2,1	1047	2,4	1054	2,8	1061	3,2	1068	3,7	1075	4,2	1082	4,8	1088	5,9
20	1013	1,1	1021	1,4	1029	1,6	1037	1,8	1045	2,0	1052	2,4	1059	2,7	1066	3,1	1073	3,5	1079	4,0	1086	4,9
25	1011	1,0	1019	1,2	1027	1,4	1035	1,6	1043	1,8	1050	2,1	1057	2,4	1064	2,7	1071	3,0	1077	3,4	1083	4,1
30	1009	0,9	1018	1,1	1026	1,2	1033	1,4	1041	1,6	1048	1,8	1055	2,1	1062	2,3	1068	2,6	1075	3,0	1081	3,5
35	1008	0,8	1016	1,0	1024	1,1	1031	1,2	1039	1,4	1046	1,6	1053	1,8	1059	2,1	1066	2,3	1072	2,6	1078	3,0
40	1006	0,7	1014	0,9	1021	1,0	1029	1,1	1036	1,2	1043	1,4	1050	1,6	1057	1,8	1063	2,0	1069	2,3	1076	2,6
45	1003	0,7	1011	0,8	1019	0,9	1027	1,0	1034	1,1	1041	1,3	1048	1,4	1054	1,6	1060	1,8	1067	2,0	1073	2,2
50	1001	0,6	1009	0,7	1017	0,8	1024	0,9	1031	1,0	1038	1,1	1045	1,3	1051	1,5	1058	1,6	1064	1,8	1070	2,0
55	999	0,6	1007	0,7	1014	0,7	1022	0,8	1029	0,9	1036	1,0	1042	1,2	1048	1,3	1055	1,5	1061	1,6	1066	1,7
60	996	0,5	1004	0,6	1012	0,7	1019	0,7	1026	0,8	1033	0,9	1039	1,1	1045	1,2	1052	1,3	1058	1,4	1063	1,5
65	994	0,5	1001	0,6	1009	0,6	1016	0,7	1023	0,8	1030	0,9	1036	1,0	1042	1,1	1048	1,2	1054	1,3	1060	1,4
70	991	0,5	998	0,5	1006	0,6	1013	0,6	1020	0,7	1027	0,8	1033	0,9	1039	1,0	1045	1,1	1051	1,2	1056	1,2
75	988	0,4	996	0,5	1003	0,5	1010	0,6	1017	0,6	1023	0,7	1030	0,8	1036	0,9	1042	1,0	1047	1,1	1053	1,1
80	985	0,4	992	0,5	1000	0,5	1007	0,5	1014	0,6	1020	0,7	1026	0,8	1032	0,8	1038	0,9	1044	1,0	1049	1,0
85	982	0,4	989	0,4	997	0,5	1003	0,5	1010	0,5	1017	0,6	1023	0,7	1029	0,8	1034	0,8	1040	0,9	1045	0,9
90	979	0,3	986	0,4	993	0,4	1000	0,5	1007	0,5	1013	0,6	1019	0,6	1025	0,7	1031	0,8	1036	0,8	1041	0,8
95	975	0,3	983	0,4	990	0,4	996	0,4	1003	0,5	1009	0,5	1015	0,6	1021	0,6	1027	0,7	1032	0,7	1037	0,8
100	972	0,3	979	0,4	986	0,4	993	0,4	999	0,4	1005	0,5	1011	0,5	1017	0,6	1023	0,6	1028	0,6	1033	0,7

Пропилен гликоль

	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν
	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт
Концентрация wt % =	10%		15%		20%		25%		30%		35%		40%		45%		50%		55%		60%	
Температура																						
-50																					1077	2433,5
-45																					1075	1390,3
-40																			1070	468,8	1074	817,6
-35																			1069	291,8	1072	494,4
-30																	1063	157,1	1067	186,7	1071	307,2
-25															1057	87,1	1062	102,5	1066	122,6	1069	196,0
-20													1051	44,9	1056	58,1	1060	68,6	1064	82,6	1067	128,2
-15											1045	22,2	1050	31,1	1054	39,8	1058	47,1	1062	56,9	1065	85,9
-10									1039	11,4	1044	16,2	1048	22,1	1053	27,9	1056	33,2	1060	40,2	1063	58,9
-5			1021	3,8	1027	4,8	1032	6,3	1037	8,7	1042	12,0	1047	16,0	1051	20,1	1054	23,9	1058	29,0	1061	41,4
0	1013	2,6	1020	3,1	1025	3,9	1031	5,1	1036	6,8	1040	9,1	1045	11,9	1049	14,7	1052	17,6	1056	21,4	1059	29,7
5	1012	2,2	1018	2,6	1024	3,2	1029	4,1	1034	5,4	1038	7,0	1043	9,0	1046	11,1	1050	13,2	1053	16,1	1056	21,7
10	1011	1,8	1017	2,2	1022	2,7	1027	3,4	1032	4,3	1036	5,5	1040	6,9	1044	8,5	1048	10,1	1051	12,3	1053	16,2
15	1009	1,6	1015	1,9	1020	2,3	1025	2,8	1030	3,5	1034	4,4	1038	5,5	1042	6,6	1045	7,9	1048	9,6	1051	12,3
20	1008	1,4	1013	1,6	1019	1,9	1023	2,4	1028	2,9	1032	3,6	1036	4,4	1039	5,3	1042	6,3	1045	7,6	1048	9,6
25	1006	1,2	1011	1,4	1017	1,7	1021	2,0	1026	2,5	1030	3,0	1033	3,6	1037	4,3	1040	5,1	1042	6,1	1045	7,5
30	1004	1,1	1009	1,2	1014	1,4	1019	1,7	1023	2,1	1027	2,5	1031	2,9	1034	3,5	1037	4,2	1039	5,0	1042	6,0
35	1002	0,9	1007	1,1	1012	1,3	1017	1,5	1021	1,8	1024	2,1	1028	2,5	1031	2,9	1034	3,5	1036	4,2	1038	4,9
40	1000	0,8	1005	1,0	1010	1,1	1014	1,3	1018	1,5	1022	1,8	1025	2,1	1028	2,5	1031	2,9	1033	3,5	1035	4,0
45	998	0,8	1003	0,9	1007	1,0	1011	1,2	1015	1,4	1019	1,6	1022	1,8	1025	2,1	1027	2,5	1030	3,0	1032	3,4
50	995	0,7	1000	0,8	1005	0,9	1009	1,0	1012	1,2	1016	1,4	1019	1,6	1021	1,8	1024	2,2	1026	2,6	1028	2,9
55	993	0,6	998	0,7	1002	0,8	1006	0,9	1009	1,1	1012	1,2	1015	1,4	1018	1,6	1020	1,9	1022	2,2	1024	2,4
60	990	0,6	995	0,6	999	0,7	1003	0,8	1006	1,0	1009	1,1	1012	1,2	1014	1,4	1017	1,7	1019	1,9	1020	2,1
65	988	0,5	992	0,6	996	0,7	999	0,8	1003	0,9	1006	1,0	1008	1,1	1011	1,3	1013	1,5	1015	1,7	1016	1,9
70	985	0,5	989	0,5	993	0,6	996	0,7	999	0,8	1002	0,9	1005	1,0	1007	1,1	1009	1,3	1011	1,5	1012	1,6
75	982	0,5	986	0,5	989	0,6	993	0,6	996	0,7	998	0,8	1001	0,9	1003	1,0	1005	1,2	1006	1,4	1008	1,5
80	979	0,4	983	0,5	986	0,5	989	0,6	992	0,7	995	0,7	997	0,8	999	1,0	1001	1,1	1002	1,2	1003	1,3
85	976	0,4	979	0,4	982	0,5	985	0,5	988	0,6	991	0,7	993	0,8	995	0,9	996	1,0	998	1,1	999	1,2
90	972	0,4	976	0,4	979	0,4	982	0,5	984	0,6	986	0,6	988	0,7	990	0,8	992	0,9	993	1,0	994	1,1
95	969	0,3	972	0,4	975	0,4	978	0,5	980	0,5	982	0,6	984	0,7	986	0,7	987	0,8	988	0,9	989	1,0
100	965	0,3	968	0,3	971	0,4	974	0,4	976	0,5	978	0,6	980	0,6	981	0,7	983	0,7	984	0,8	984	0,9

Гидроксид натрия

	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν
	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт
Концентрация wt % =	5%		10%		15%		20%		25%		30%		35%		40%		45%		50%		55%	
Температура																						
0	1060		1117		1174		1230		1285		1334		1384		1435		1483		1530		1559	
5	1058		1115		1172		1227		1283		1332		1381		1429		1480		1528		1556	
10	1057		1113		1170		1224		1280		1330		1377		1423		1478		1525		1553	
15	1056		1111		1167		1222		1277		1326		1372		1420		1471		1518		1546	
20	1054	1,3	1109	1,7	1164	2,5	1219	3,6	1274	6,2	1322	10,1	1367	16,8	1416	25,4	1464	38,2	1511	51,8	1540	
25	1052	1,1	1107	1,5	1162	2,1	1217	3,1	1271	5,1	1319	8,3	1364	13,3	1413	19,9	1461	29,0	1508	39,0		
30	1050	1,0	1104	1,3	1159	1,8	1214	2,7	1268	4,0	1315	6,5	1360	9,9	1410	14,4	1457	19,9	1504	26,2		
35	1048	0,9	1102	1,2	1157	1,6	1211	2,3	1265	3,4	1312	5,5	1357	8,2	1407	11,6	1454	15,9	1501	20,5		
40	1046	0,8	1100	1,1	1154	1,4	1208	2,0	1262	2,8	1309	4,5	1353	6,6	1403	8,9	1450	12,0	1497	14,7		
45	1044	0,7	1097	1,0	1151	1,3	1205	1,8	1259	2,6	1306	3,9	1347	5,6	1396	7,5	1443	9,9	1490	12,1		
50	1042	0,7	1094	0,9	1148	1,2	1202	1,6	1256	2,3	1302	3,3	1340	4,6	1389	6,0	1436	7,8	1483	9,4		
55	1039	0,6	1092	0,8	1145	1,0	1199	1,5	1253	2,0	1299	2,9										
60	1036	0,6	1089	0,7	1143	0,9	1196	1,3	1250	1,8	1295	2,4										
65	1033	0,	1086	0,7	1140	0,9	1193	1,2	1246	1,6												
70	1030	0,5	1083	0,6	1137	0,8	1190	1,1	1243	1,5												
75	1027		1080		1134		1186		1240													
80	1025		1077		1131		1183		1237													



Хлорид кальция

	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν
	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт
Концентрация wt % =	10%		15%		20%		25%	
Температура								
-25							1245	7,7
-20							1244	6,3
-15					1189	4,3	1242	5,2
-10			1138	3,0	1188	3,6	1241	4,4
-5	1090	2,3	1137	2,6	1187	3,1	1239	3,8
0	1088	2,0	1135	2,2	1186	2,6	1237	3,3
5	1086	1,7	1134	1,9	1184	2,3	1235	2,9
10	1085	1,5	1132	1,7	1182	2,0	1233	2,5
15	1083	1,3	1131	1,5	1180	1,8	1230	2,2
20	1082	1,1	1129	1,3	1178	1,6	1228	2,0
25	1082	1,0	1127	1,2	1176	1,4	1226	1,8
30	1081	0,9	1125	1,0	1173	1,3	1223	1,6

Хлорид натрия

	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v
	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт	кг/м³	сСт
Концентрация wt % =	5%		10%		15%		20%	
Температура								
-15							1162	4,0
-10					1120	2,9	1160	3,2
-5			1082	2,2	1118	2,4	1158	2,7
0	1043	1,8	1080	1,8	1116	2,0	1155	2,3
5	1042	1,5	1079	1,6	1114	1,7	1153	1,9
10	1041	1,3	1077	1,4	1112	1,5	1151	1,7
15	1040	1,1	1075	1,2	1110	1,3	1148	1,5
20	1039	1,0	1074	1,1	1108	1,2	1146	1,3
25	1037	0,9	1072	0,9	1106	1,0	1144	1,2
30	1036	0,8	1070	0,9	1103	0,9	1141	1,1

А

Абсолютное давление	85
Автомат защитного отключения (ELCB)	125
Алюминий	70
Армированная изоляция	48
Асинхронный электродвигатель	40
ATEX (взрывоопасная атмосфера)	41
Аустенитная (немагнитная) сталь	68

В

Вал	11
Взрывозащищенный электродвигатель	41
Массовый расход	83
Вертикальный насос	12, 13
Вибрационные опоры	79
Вибрации	78
Вихревое рабочее колесо	21
Влияние вязкости жидкости на характеристику насоса	55
Вязкость	54, Прил. L
Динамическая вязкость	54
Вязкие жидкости	54

Г

Герметично уплотненный насос	18
Гидравлическая мощность	10, 91
Глубинный насос	23
Горизонтальный насос	12, 13

Д

Давление	84
Абсолютное давление	85
Давление в системе	88
Давление насыщенных паров	90, Прил. Д
Динамическое давление	84
Единицы измерения давления	85, Прил. А
Манометр	85
Перепад давлений	88
Статическое давление	84
Давление в системе	88
Датчик давления (РТ)	114
Двойное уплотнение «back-to-back»	34
Двойной вход	17
Двойное механическое уплотнение вала	33
Двойное последовательное уплотнение	33
Двойной спиралевидный корпус	15
Двухканальное рабочее колесо	21
Двустороннего всасывания насос	12, 13, 17
Динамическая вязкость	54

Директива по электромагнитной совместимости	123
Дозировочный насос	25
Дроссельное регулирование	106, 110–113
Дроссельный клапан	107

Ж

Железосодержащие сплавы	65
Жидкость	54
Вязкость	54
Ньютоновская (нормальная)	55
Неньютоновская (аномальная)	55
Пластичная жидкость	55
Расширяющаяся	55
Тиксотропная	55

З

Закрытая система	96, 98
Затраты на приобретение	129
Затраты на монтаж и пусконаладочные работы	129
Затраты на ремонт и техническое обслуживание	131
Затраты на систему	117
Затраты на утилизацию	131
Защита электродвигателя	49

И

Избирательная коррозия	62
Издержки от потери продукции	131
Издержки из-за простоя	131
Изоляция электродвигателя	48
Изолированный подшипник	48
Инвестиционные затраты	129
«Ин-лайн» насос	12, 13
Источник напряжения	47

К

Кавитация	10, 89
Кавитационная коррозия	63
Канализационный насос	21
Картриджное уплотнение	32
Керамика	71
Кинематическая вязкость	54, Прил. L
Класс защиты (IP) электродвигателя	43
Класс изоляции	44
Ковкий чугун	66
Кольцевое уплотнение	31
Компенсаторы	80
Компьютерная программа подбора насоса	58
Корпус насоса	15

Двойной спиралевидный	15
Одинарный спиралевидный	15
С обратным каналом	11, 15
Коррозия	60
Кавитационная коррозия	63
Коррозионная усталость	64
Щелевая коррозия	62
Эрозионная коррозия	63
Электрохимическая коррозия	64
Межкристаллитная коррозия	62
Точечная коррозия	61
Избирательная коррозия	62
Коррозионное растрескивание	63
Равномерная коррозия	61
Коррозионная усталость	64
Коррозионное растрескивание	63
Коррекция диаметра рабочего колеса	108, 110
КПД (коэффициент полезного действия)	10
КПД при пониженной скорости	109
КПД электродвигателя	49
Кривая характеристики насоса	9
Q-H характеристика	9

Л

Лакокрасочное покрытие	74
------------------------	----

М

Манометр	85
Мартенситный (магнитный) материал	68
Медные сплавы	69
Международная электротехническая комиссия (МЭК), электродвигатели	40
Межкристаллитная коррозия	62
Мембранный насос	25
Металлов сплавы	65
Железосодержащие сплавы	65
Металлическое сильфонное уплотнение	32
Металлические покрытия	73
Механическое уплотнение вала	18, 28
Сильфонное уплотнение	31
Картриджное уплотнение	32
Металлическое сильфонное уплотнение	32
Резиновое сильфонное уплотнение	31
Работа	29
Промывка	32
Многоступенчатый насос	11, 12, 13, 16
Моноблочный насос	12, 13, 16
Монтаж насоса	77
Мощность на валу электродвигателя	91

Муфта	16
Основная муфта	16
Упругая муфта	16
Распорная муфта	16

Н

Напор	9, 85
Насос	
Насос осевого потока	8
Скважинный насос	23
Насос с герметичным электродвигателем	18
Центробежный насос	8
Моноблочный насос	12, 13, 16
Мембранный насос	25
Дозировочный насос	25
Герметично уплотненный насос	18
Горизонтальный насос	12, 13
Погружной насос	22
Насос с соединительной муфтой	12, 13, 16
Насос с электромагнитным приводом	19
Насос смешанного потока	8
Многоступенчатый насос	11, 12, 13, 16
Поршневой (объемный) насос	24
Насос радиального потока	8
Пищевой насос	20
Переразмеренный насос	106
Одноступенчатый насос	11, 12, 13, 15
Двустороннего всасывания насос	12, 13, 17
Стандартный насос	17
Вертикальный насос	12, 13
Канализационный насос	21
Насос с мокрым ротором	18
Насос одностороннего всасывания	12
Насос с соединительной муфтой	12, 13, 16
Насос радиального потока	8
Насосы, установленные последовательно	103
Насосы, установленные параллельно	101
Насосы с встроенным преобразователем частоты	118
Насосы смешанного потока	8
NEMA, стандарт электродвигателя	40
Неметаллические покрытия	74
Неньютоновская (аномальная) жидкость	55
Нержавеющая сталь	66
Несбалансированное уплотнение вала	30
Несинусоидальный ток	124
Никелевые сплавы	69
Нитриловый каучук	72
NPSH	10, 89
Ньютоновская (нормальная) жидкость	55

О

Обычная муфта	16
Объемный расход	83
Единицы измерения	Прил. А
Одинарный спиралевидный корпус	15
Одноканальное рабочее колесо	21
Одноступенчатый насос	11, 12, 13, 15
Органические покрытия	74
Осевые насосы	8
Осевые силы	14
Открытая система	96, 99

П

Параллельное соединение регулируемых насосов	102
Перепад давлений	88
Переразмеренный насос	106
Перфторированные эластомеры (FFKM)	72
Пищевой насос	20
Плавный пуск	46
Пластическая жидкость	55
Пластмассы	71
Плотность	10, 93
Единицы плотности	Прил. А
Плотность воды	Прил. D
Плотность соленой воды	Прил. L
PI-регулятор	114
Погружной насос	22
Подогрев электродвигателя в режиме ожидания	51
Подшипник	51
Покрывтия	73
Металлические покрытия	73
Неметаллические покрытия	74
Органические покрытия	74
Регулируемый пол	79
Поршневой (объемный) насос	24
Потребляемая мощность	10, 91
Гидравлическая мощность	10, 91
Мощность на валу	91
Преобразователь частоты	47, 108, 118
Промывка	32
Прямой пуск электродвигателя	46
Прямой пуск электродвигателя от сети	46
Пуск электродвигателя способом «звезда/треугольник»	46
Пуск через автотрансформатор	46
Пуск через преобразователь частоты	46, 47
Плавный пуск	46
Пуск электродвигателя	46
Пуск электродвигателя способом «звезда/треугольник»	46
Пусковой автотрансформатор	46
PWM — широтно-импульсный модулятор	123

Р

Рабочая точка	96
Рабочее колесо	14, 21
Двухканальное рабочее колесо	21
Одноканальное рабочее колесо	21
Вихревое рабочее колесо	21
Рабочее колесо одностороннего всасывания	11
Рабочее колесо двустороннего всасывания	11, 17
Рабочая характеристика насоса	9, 96
Равномерная коррозия	61
Радиальные силы	15
Распорная муфта	16
Расход	83
Массовый расход	83
Объемный расход	83
Единицы измерения расхода	Прил. В
Расширяющаяся жидкость	55
Регулирование	106
Дроссельное регулирование	107
Регулирование байпасом	106
Регулирование скорости	108
Регулирование по постоянному перепаду давления	115
Регулирование по постоянному давлению	114
Регулирование по постоянной температуре	115
Регулирование байпасом	106
Регулирование рабочих параметров	106
Регулирование перепада давления	116
Регулирование по давлению	
Регулирование по постоянному перепаду давления	115
Постоянное давление	114
Регулирование по постоянному давлению	119
Поддержание постоянного давления	114
Регулирование по пропорциональному давлению	120
Регулирование скорости	106, 108, 110
Регулирование переменной скорости	108
Резина (каучук)	72
Этиленпропиленовый каучук (EPDM)	72
Фторэластомеры (FKM)	72
Нитриловый каучук (NBR)	72
Перфторированные эластомеры (PFKM)	72
Силиконовый каучук	72
Резиновое сильфонное уплотнение	31

С

Сальниковая набивка (сальник)	28
Сбалансированное уплотнение вала	30
Сдвоенный насос	11
Серый чугун	66
Силиконовый каучук (Q)	72

Сильфонное уплотнение	31
Скважинный насос	23
Сопротивления отдельных компонентов системы	97
Сопротивления, соединенные параллельно	98
Сопротивления, соединенные последовательно	97
Спиралевидный корпус	11
Сталь	65
Стандарты	40
IEC для электродвигателей	40
NEMA для электродвигателей	40
Гигиенические стандарты	20
Стандартный насос	17
Статическое давление	84
Стойкость к воспламенению пыли	42
Стоимость электроэнергии	130
Стоимость жизненного цикла	117, 128
Пример	132

Т

Температура	93
Единицы измерения температуры	Прил. В
Теплоемкость	93
Терморезистор с положительным температурным коэффициентом сопротивления	50
Терморезистивная пластмасса	71
Термопластическая пластмасса	71
Тиксотропная жидкость	55
Типоразмер	44
Титан	70
Точечная коррозия	61

У

Уплотнение вала	28
Сбалансированное уплотнение вала	30
Несбалансированное уплотнение вала	30
Уплотнительный зазор	29
Уплотняющая поверхность	28
Упругая муфта	16
Уровень звука	81
Установка электродвигателя	43
Установленное значение	114

Ф

Фазовая изоляция	48
Ферритный (магнитный) материал	68
Ферритно-аустенитный или двойной (магнитный) материал	68
Фильтр электромагнитной совместимости	123

Фторэластомеры (FKM)	72
Фундамент	78
Вибрационные опоры	79
«Плавающий» фундамент	79
Пол	79
Регулируемый пол	79

Х

Характеристика КПД	10
Характеристика насоса	9, 96
Характеристика системы	96
Закрытая система	96, 98
Открытая система	96, 99

Ц

Центробежный насос	8
--------------------	---

Ч

Чугун	66
-------	----

Ш

Широтно-импульсный модулятор (PWM)	123
Шум (вибрация)	78

Щ

Щелевая коррозия	62
------------------	----

Э

Экологические затраты	130
Экономия электроэнергии	111, 114, 117
Эксплуатационные расходы	106, 130
Электродвигатели	40
Взрывозащищенные электродвигатели	41
Электродвигатели повышенной безопасности	41
Электродвигатели, не дающие искр	42
Электродвигатель повышенной безопасности	41
Электродвигатель, не дающий искры	42
Электромагнитный привод	19
Электрохимическая коррозия	64
Эрозионная коррозия	63
Этиленпропиленовый каучук (EPDM)	72

BE > THINK > INNOVATE >

Быть ответственным
Думать о будущем
Внедрять новое