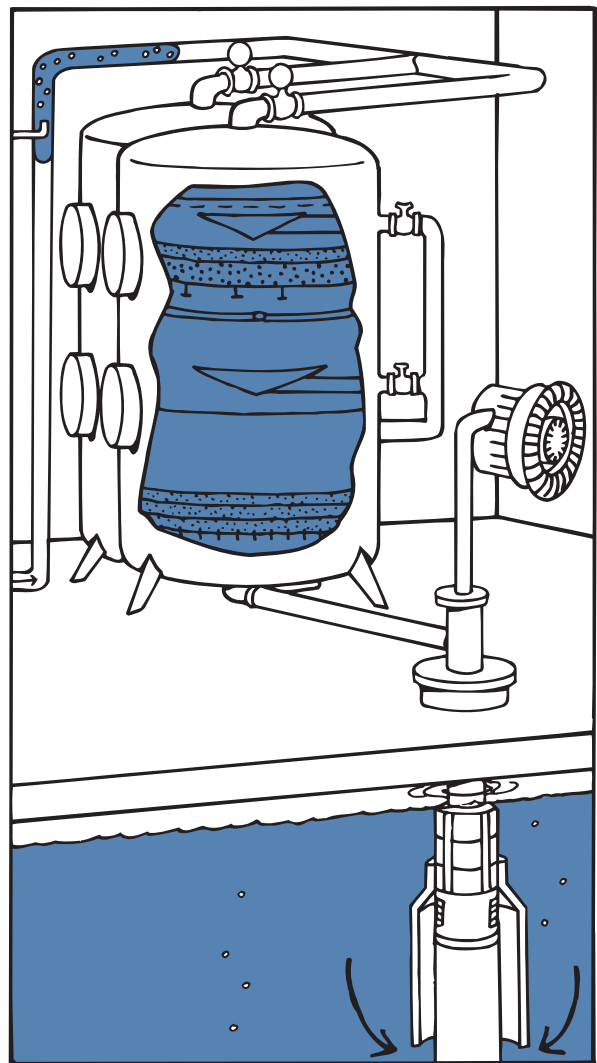


Техническое пособие

Скважинные насосы



Оценка потребного расхода	1
Скважина и протокол скважины	2
Система трубопроводов	3
Оптимизация работы при нестабильном водопотреблении	4
Способы пуска электродвигателей	5
Электродвигатели промышленного назначения	6
Охлаждение электродвигателей	7
Энергоснабжение	8
Кабель и кабельные соединения	9
Электродвигатель с преобразователем частоты	10
Работа с электрогенератором	11
Водоподъемная труба	12
Техническое обслуживание	13
Гидравлический удар	14
Коррозионно-активная вода	15
Кавитация	16
Осевое смещение	17
Вода с песком	18
Вода с газом	19
Частота включения	20

1. Оценка потребного расхода	7	10. Электродвигатель с преобразователем частоты	55
Водопотребление	7	11. Работа с электрогенератором	57
Грунтовая вода и производительность ее подготовки	8	12. Водоподъемная труба	59
Анализ энергопотребления	9	Коррозия труб	59
2. Скважина и протокол скважины	11	Решение проблемы коррозии труб	59
Расчет параметров скважины	11	Соединение труб и установка	60
Анализ состава воды	11	Варианты установки подъемных труб — труба/шланг	61
Потери материалов	13	13. Техническое обслуживание	63
Обслуживание скважины	16	14. Гидравлический удар	65
3. Система напорного трубопровода для грунтовой воды	17	Скачок давления	66
4. Оптимизация работы при нестабильном водопотреблении	23	15. Коррозионно-активная вода	67
Параллельная работа	23	Примеры применения диаграммы	67
5. Способы пуска электродвигателей	29	Коррозия насосов и труб	68
Методы снижения пусковых токов	29	Решение проблемы коррозии	68
6. Электродвигатели промышленного назначения	35	16. Кавитация	69
7. Охлаждение электродвигателей	37	Диаграмма расчета минимальной глубины установки насоса в скважине	70
Избыточная температура воды	38	17. Осевое смещение	71
Снижение мощности/пересмотр параметров погружных электродвигателей	38	Осевое смещение, возникающее при импульсном режиме эксплуатации	71
Охлаждающий кожух на всасывании	39	18. Вода с песком	73
8. Энергоснабжение	41	19. Вода с газом	75
Низкое и высокое напряжение	42	Устройство для дегазации выкачиваемой из скважины воды	75
Выводы	42	Создание разрежения в скважине	75
Асимметрия напряжения	43	20. Частота включения	77
Асимметрия тока	43	Наши объекты	78
Частота	45		
Гармоники напряжения	45		
9. Кабель и кабельные соединения	49		
Выбор кабеля	49		
Соединение кабеля электродвигателя с основным погружным кабелем	52		
Кабельный ввод электродвигателя	53		

Водопотребление

Грунтовые воды используются довольно часто, и у каждого потребителя различны не только потребный расход и напор, но и распределение пиковой нагрузки системы водоснабжения в течение суток и года. Существует ряд методов расчета потребного расхода как вручную, так и программных.

Приведенные на этой странице графики позволяют произвести примерный расчет потребного расхода, например, для:

- жилых зданий, включая многоквартирные жилые дома
- административных зданий
- универмагов
- отелей
- больниц

Пример

Категория здания	Единица измерения	Потребление воды, м³/ч
Жилые здания	2000 жильцов	70
Административные здания	2000 сотрудников	30
Универмаги	2000 сотрудников	55
Отели	1000 мест	110
Больницы	1000 мест	80
Максимальное потребление		345

Коэффициенты расчета суточного водопотребления

- минимальная нагрузка 100 потребителей: коэффициент 8
- минимальная нагрузка 30 потребителей: коэффициент 4
- минимальная нагрузка 10 потребителей: коэффициент 2,5

Максимальное суточное водопотребление в этом примере составляет $8 \cdot 345 \text{ м}^3/\text{ч} = 2760 \text{ м}^3/\text{день}$.

График максимального потребления воды различными категориями потребителей показан на рис. 1

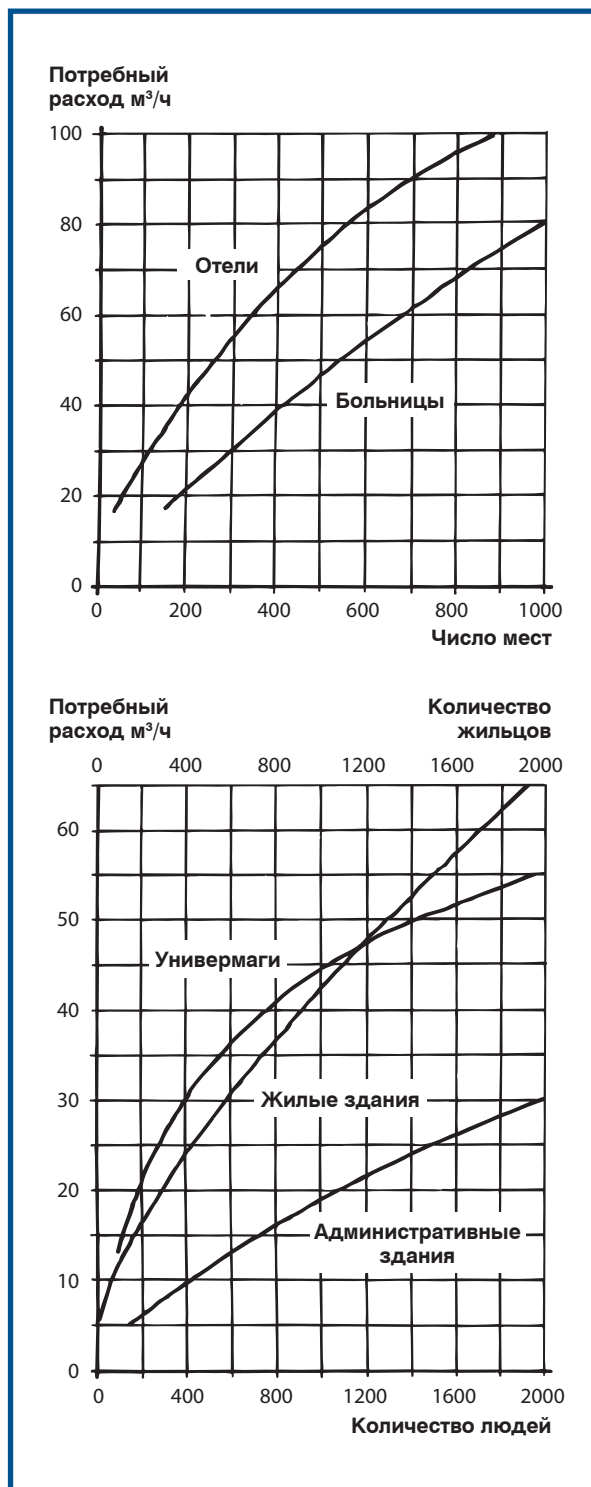


Рис. 1. Максимальное потребление воды различными категориями потребителей

Грунтовая вода и производительность ее подготовки

В установках по подготовке грунтовой воды, не снабженных резервуаром для чистой воды либо водонапорным баком, количество поступающей исходной воды и производительность этих установок должны соответствовать максимальному часовому потреблению воды, т.е. в вышеуказанном примере 435 м³/ч.

В установках, снабженных резервуаром для чистой воды либо водонапорным баком емкостью 2760 м³, выход из пиковых ситуаций с потреблением воды можно найти с помощью этого резервуара.

Это означает, что насосы для перекачивания грунтовой воды могут непрерывно работать при расходе $2760/24 \text{ м}^3/\text{ч} = 115 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Эффективный объем резервуара для чистой воды и/или водонапорного бака, а также максимальная производительность установки водоподготовки имеют решающее значение при расчете стоимости инвестиций на скважины, предназначенные для добычи подземных вод.

Процентное соотношение между производительностью выкачивания из скважин и очистки исходной воды и ее суточной потребностью (м³/24 ч) показано на рис. 2.

Предположим, что емкость резервуара для чистой воды в вышеуказанном примере составляет 1600 м³. Это означает, что этот резервуар обеспечивает $1600/2760 \cdot 100 = 58\%$ дневной потребности.

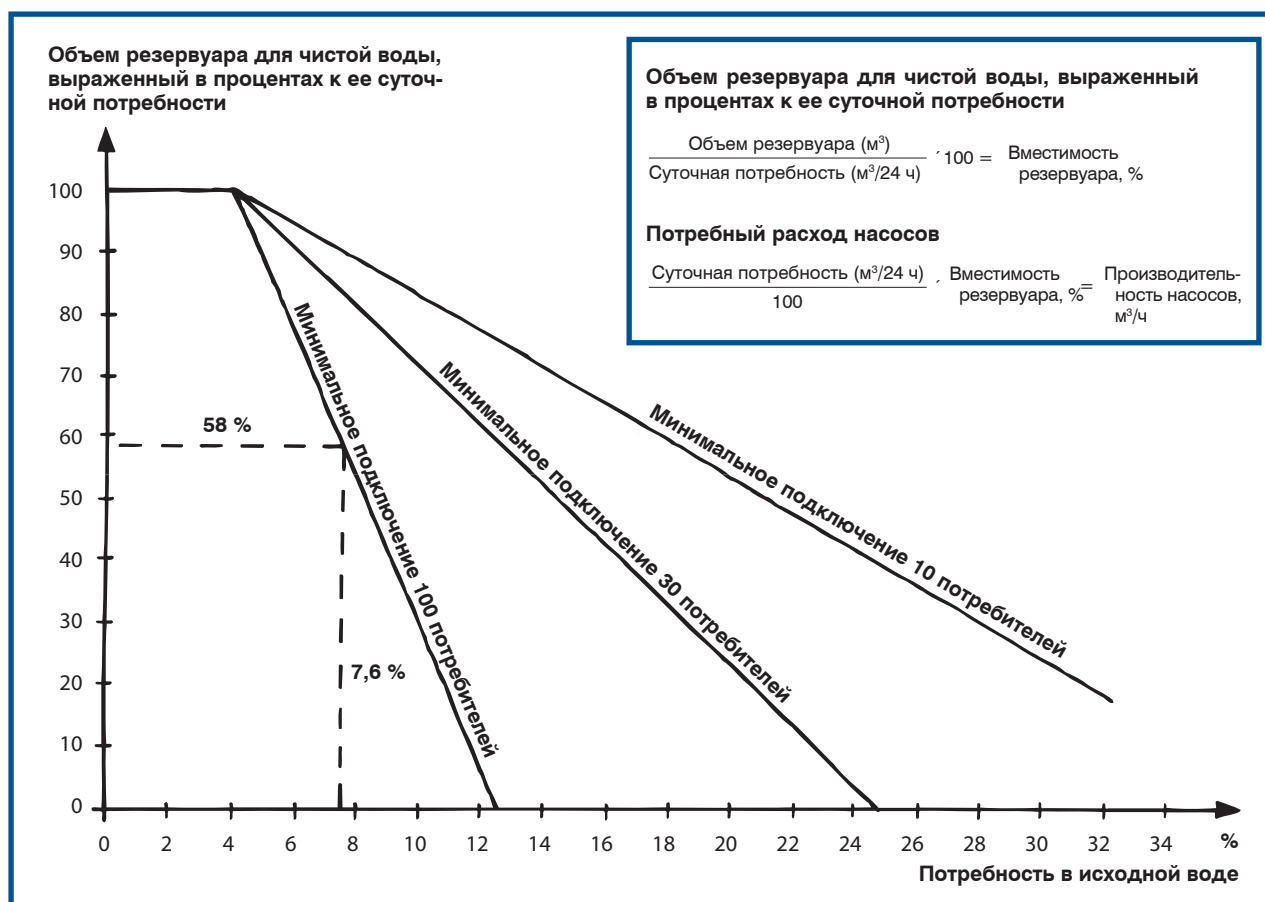


Рис. 2. Процентное соотношение между производительностью добычи воды из скважины и её суточной потребностью (м³/24 ч)

При максимальном потреблении в часы пик, составляющем 2760 м³/день, а также при эффективной емкости накопительного резервуара для чистой воды 1600 м³ производительность откачивания воды из скважины должна составлять не менее $2760 \cdot 7,6/100 = 210$ м³/ч. Отсюда следует, что максимальное время работы скважинных насосов равно $2760/210 = 13$ часов в день.

Эта производительность (210 м³/ч) распределяется по нескольким скважинам. Для обеспечения надежности эксплуатации всей системы целесообразно наличие резервного насоса.

Анализ энергопотребления

При определении параметров системы водоснабжения важно учитывать не только технические аспекты, но и другие факторы, оказывающие влияние на энергозатраты.

1. В тех случаях, когда существуют дешевые ночные тарифы электроэнергии, параметры установки по откачиванию и очистке грунтовой воды следует определять таким образом, чтобы основное время откачивания и очистки воды приходилось на время с низкими тарифами.

2. Если использование ночных тарифов не дает ощутимой экономии, то насосы пускают по возможности на самый длительный период, при этом подбирая наименее мощные.

3. Чтобы добиться максимально возможной экономической эффективности и надежности, потребный расход распределяют по нескольким насосам:

- а) чем выше КПД, тем ниже затраты на электроэнергию;
- б) чем ниже скорость потока в трубопроводах, тем ниже затраты электроэнергии, необходимой для преодоления потерь на трение;
- в) чем больше насосов применяется при параллельной работе, тем менее серьезны последствия простоя оборудования из-за поломок и проведения работ по техническому обслуживанию;
- г) чем ниже средняя нагрузка на установку по очистке грунтовой воды, тем выше качество её очистки и ниже затраты на обратную промывку;
- д) при невысокой нагрузке на насосы увеличиваются интервалы между циклами технического обслуживания и срок службы скважины.

Расчет параметров скважины

Расчет параметров скважины для откачивания подземных вод определяется производительностью подземного источника (дебитом скважины) и необходимым водопотреблением. В числе важных этапов расчета параметров скважины следует назвать:

- выбор водоносного слоя подходящего качества
- расчет параметров фильтровальной части и гравийной засыпки.

Специалист по бурению скважины или монтажник должны при выборе насоса обязательно руководствоваться протоколом скважины.

Этот документ должен составляться при обустройстве всех новых скважин. Также он должен актуализироваться и для всех действующих скважин. В протоколе содержатся сведения об удельном дебите скважины, надежности водоносного горизонта, содержании в воде твердых частиц и т.д.

Анализ состава воды

Общий

При общем исследовании воды определяются следующие ключевые параметры, от которых зависит выбор материалов насоса и электродвигателя.

Наличие песка

Из квалифицированно смонтированной скважины песок не выкачивается. Из нее могут поступать лишь ил и еще меньшие частицы. Ил нередко появляется вместе с окислами железа, марганца и кальция. Задерживаемые фильтрами частицы при обратной промывке вымываются из фильтра. GRUNDFOS рекомендует концентрацию песка или ила в грунтовой воде не более 50 промилле (мг/л), что означает их невидимость в стакане воды. При выполнении этой рекомендации можно ожидать нормальный срок службы насоса и электродвигателя. Если содержание песка и ила будет выше рекомендуемой величины, то срок службы снижается.

Износ

Различают два вида износа: абразивный и эрозионный.

Абразивный износ

Износ путем истирания возникает в тех случаях, когда частица твердого вещества попадает между поверхностями скольжения, например, между валом и опорой или между рабочим колесом и разрезным установочным кольцом. Схематическое изображение истирания показано на рис. 3.

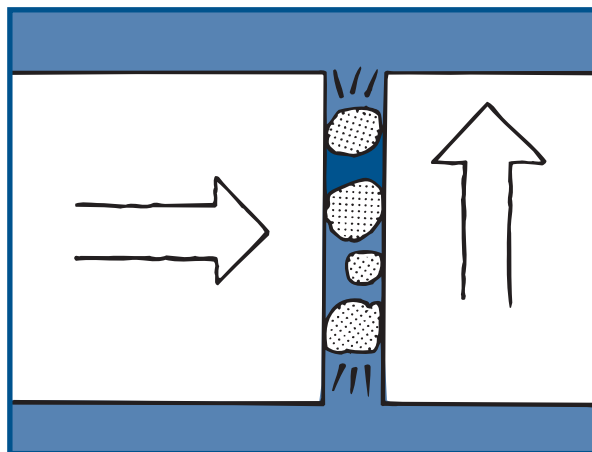


Рис. 3. Схема истирания

СКВАЖИНА И ПРОТОКОЛ СКВАЖИНЫ

Эрозионный износ

Эрозия, как показано на рис. 4, представляет собой преобладающий вариант износа в случае, если рабочая жидкость содержит взвешенные вещества. Износ вызывается столкновением взвешенных частиц с наружной поверхностью насоса. Следствием этого столкновения являются потери материала.

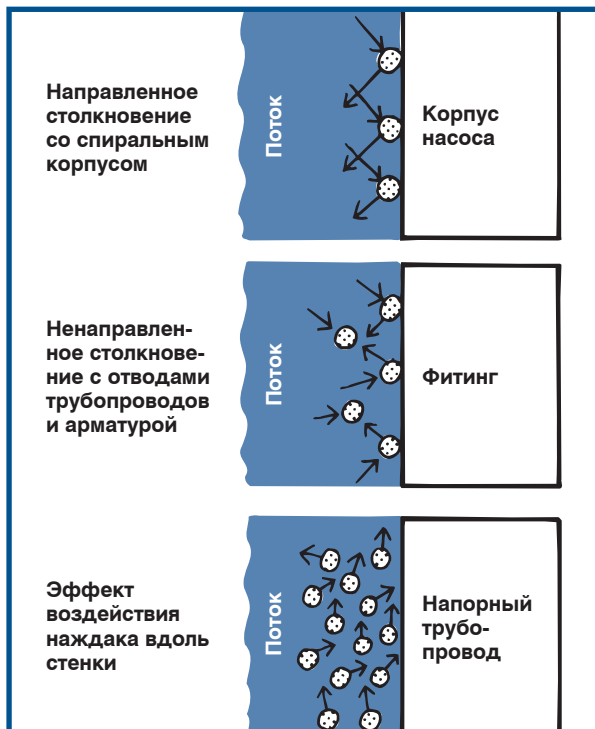


Рис. 4. Схематическое изображение эрозии

Коррозионная активность воды

При выборе материала и срока службы насосов большое значение имеет также коррозионная активность воды.

Коррозия

Коррозия металлов представляет собой очень сложное явление, поскольку она основана на протекании электрического тока и воздействии различных химических факторов.

Существует много различных видов коррозии, среди которых можно отметить электрохимическую (рис. 5), щелевую (рис. 6) и питтинговую (рис. 7), а также равномерную, межкристаллитную и коррозию под напряжением в агрессивной среде. Эти виды коррозии нередко возникают одновременно с эрозией, причем такая комбинация имеет решающее значение, а распознавание отдельных составляющих коррозии часто бывает весьма затруднительным.

Отсюда следует очень важный вывод о необходимости при выборе типа насоса и его материалов учитывать вид возникающего износа.

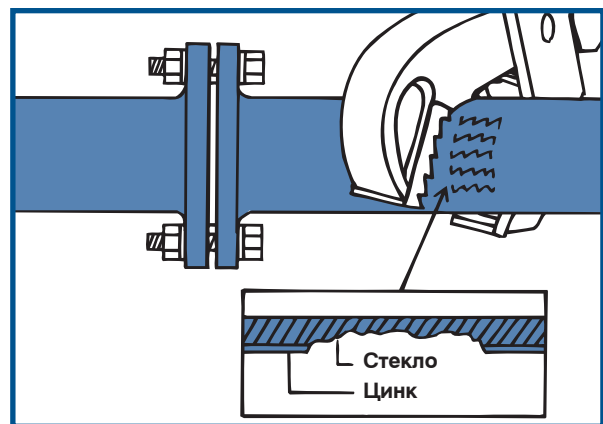


Рис. 5. Электрохимическая коррозия

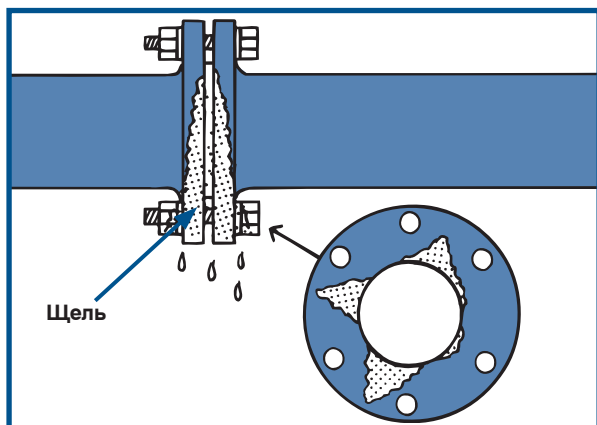


Рис. 6. Щелевая коррозия

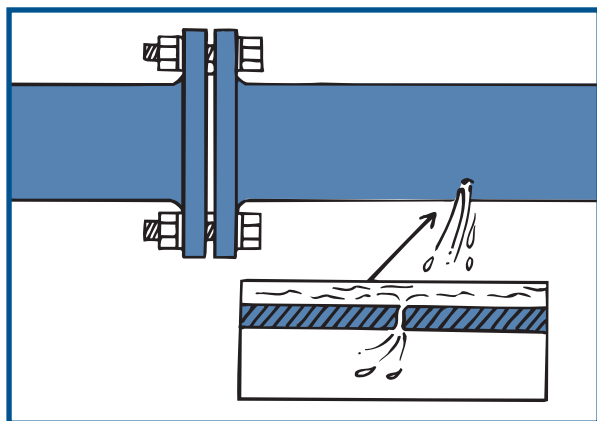


Рис. 7. Питтинговая коррозия

Потери материалов

В отношении потерь материалов, возникающих при взаимодействии истирания, эрозии и коррозии, необходимо учитывать следующие соображения.

При использовании насосов из бронзы потери наружных поверхностей материалов насосов в два раза меньше, чем при использовании насосов из серого чугуна.

Соответственно и срок службы насоса из бронзы вдвое выше, чем насоса из серого чугуна. Однако применять насосы из бронзы можно лишь в особых случаях, поскольку из этого материала в перекачиваемую жидкость нередко попадает свинец.

Износ наружной поверхности материала у насосов из нержавеющей стали составляет лишь десятую часть потерь материала насоса из серого чугуна, поэтому выбор таких насосов будет оптимальным. Износоустойчивость некоторых видов композиционных материалов примерно такая же, как у легированной стали.

У насосов из обычного серого чугуна или стали высвобождаются окиси железа (ржавчина). К числу отрицательных воздействий этого явления относятся ухудшение вкуса воды, появление отложений в системах трубопроводов или коричневых хлопьев в умывальниках, в туалетах, а также на нагревательных элементах бойлерных баков, посудомоечных и стиральных машин и т.д. Наличие в воде окиси железа вынуждает потребителя применять агрессивно действующие очищающие химикаты.

Легированная сталь является нейтральным материалом, поэтому насос из этой стали не загрязняет воду. Такая сталь полностью перерабатывается, и поэтому она представляет наилучший выбор и с точки зрения защиты окружающей среды.

Наружная поверхность насосов из легированной стали имеет в 5–10 раз лучшее качество обработки, чем поверхность чугунных насосов. Малая масса и гладкая наружная поверхность насосов из легированной стали позволяет им достигать более высокого КПД, имея при этом возможность самоочистки.

Температура воды

Наряду с другими факторами, значительное воздействие на коррозионную активность воды оказывает ее температура, которая является важным критерием выбора электродвигателя и размеров кабеля. При коррозионной активности грунтовых вод следует очень тщательно измерять температуру воды в скважине. **Уже при повышении температуры воды на 10 °С скорость коррозии удваивается.**

Источники загрязнений

Подшипники с масляной смазкой

Применение подшипников такого типа несет значительный риск загрязнения воды, поскольку коррозия корпуса подшипника, поврежденный или изношенный подшипник вала могут привести к попаданию масла в питьевую воду. Одним литром масла можно загрязнить миллион литров воды так, что потребуется замена фильтрующего материала, а при необходимости очистка — как механически, так и химически — километров трубопроводов, чтобы возобновить качественное водоснабжение.

Подшипники с водяной смазкой

Агрегаты, оснащенные подшипниками с водяной смазкой, не представляют никакого риска для качества воды в том случае, если втулка подшипника качения и вал изготовлены из материалов, не подверженных коррозии.

Пробный пуск насоса

В протоколе скважины должны содержаться результаты пробного пуска насоса, проведенного в течение по меньшей мере 48–72 ч в зависимости от стабильности рабочего уровня воды в скважине.

Схематическое изображение уровней воды в скважине приведено на рис. 8.

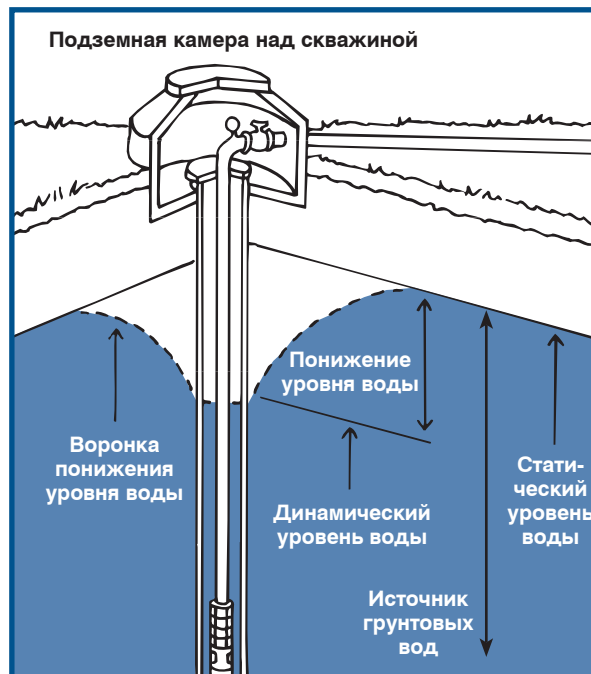


Рис. 8. Уровни воды в скважине

В течение 24 ч рабочий уровень воды в скважине не должен изменяться при ее откачивании. В таком случае пробный пуск продолжается еще 24 ч, причем подключают и другие насосы, качающие воду из того же источника подземных вод. При таком режиме пробного пуска динамический уровень воды также должен оставаться стабильным. Если эти требования выполнены, риск истощения скважины исключен (при условии, что и все другие факторы не изменились). Истощение скважины означает, что из нее выкачивают больше воды, чем дает источник подземных вод.

Истощения скважины нужно избегать по следующим причинам:

- повышенный риск «сухого» хода насоса;
- вымывание песка и его выкачивание;
- понижение динамического уровня воды, следствием чего являются больший напор и повышенные затраты на электричество;
- слишком высокая нагрузка на скважину ведет к значительному снижению уровня воды в ней. Это приводит к активным процессам окисления

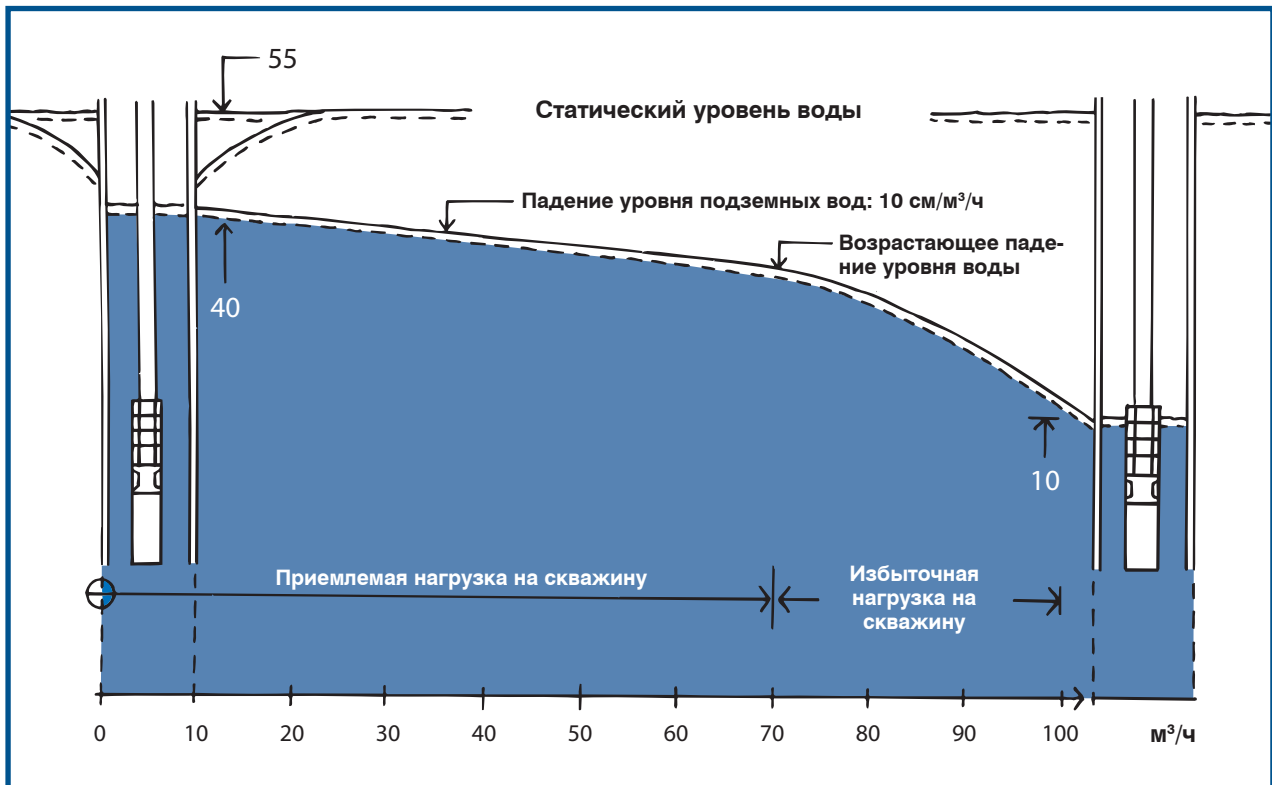


Рис. 9. Колебания динамического уровня воды

с образованием охры, которая может засорить скважинный фильтр и насос, что приведет к необходимости увеличения расходов на техническое обслуживание для регенерации скважины и, вполне возможно, станет причиной сокращения срока ее службы;

- слишком высокая нагрузка на скважину вызывает понижение уровня грунтовых вод, что может стать причиной химических изменений и появления отложений тяжелых металлов. Кроме того, это может привести к просачиванию в воду нитратов и пестицидов и, как следствие, к повышенным расходам на очистку воды.

Наиболее часто встречающейся причиной слишком высокой нагрузки на скважину или источник подземных вод является повышенное потребление воды, обусловленное завышенной производительностью насоса либо слишком длительным периодом работы насосов для откачивания подземных вод без увеличения площади водонасосного бассейна или числа скважин.

Нагрузка на источник подземных вод

При многочасовом выкачивании с постоянной производительностью динамический уровень воды в скважине должен оставаться постоянным. Если же этот уровень понизится значительно, это означает, что объем откачиваемой воды превышает ее приток. Если уровень воды падает все ниже, то объем откачиваемой воды следует сократить и пользоваться водой из других источников подземных вод.

Колебания динамического уровня воды в скважине показаны на рис. 9.

Нагрузка на скважину

При пробном пуске насоса объем откачиваемой воды через установленные интервалы времени повышается, что ведет к снижению динамического уровня воды. Если это снижение при растущей подаче насоса графически изобразить в виде математической функции, то приблизительно получим параболу второй степени.

Линейное понижение уровня при небольшом расходе

При незначительном расходе его увеличение на $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ приводит почти к линейному увеличению падения уровня воды в скважине на $10 \text{ см}/\text{м}^3$. Таким образом, увеличение расхода с 10 до $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ становится причиной снижения уровня воды примерно на 1 м , а с 10 до $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ — соответственно на 2 м . При небольшом расходе снижение уровня протекает почти линейно, поскольку это снижение вызвано гидравлическим сопротивлением в фильтре скважины.

Параболическое снижение уровня при значительном расходе

При постоянно возрастающем расходе растущее гидравлическое сопротивление фильтра скважины и водоносного пласта приводит к снижению уровня воды по параболе второй степени. При возрастающем расходе откачивания это означает параболически снижающийся уровень воды в скважине.

Увеличение расхода с 80 до $90 \text{ м}^3/\text{ч}$ приводит к снижению уровня воды в скважине примерно на 5 м (при повышении подачи с 80 до $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ соответственно на 11 м). В результате возникает пропорциональное снижение уровня, как и при незначительных расходах.

Наибольшую экономическую эффективность при эксплуатации скважины получают в том случае, когда задают подачу, при которой характеристика снижения уровня переходит от линейной в параболическую область.

Если для покрытия потребностей в воде дебита скважины недостаточно даже при большом времени добычи из нее воды, нужно посоветоваться со специалистом по монтажу скважины либо пробурить дополнительную скважину.

Обслуживание скважины

Перед извлечением из скважины насоса для его очистки и технического обслуживания нужно провести пробный пуск этого насоса. При снижении в результате нескольких лет эксплуатации дебита скважины ее нужно полностью выкачать (очистить от песка), чтобы довести до первоначального дебита. Если это оказывается невозможным, нужно проверить, не будет ли более эффективным для этих целей использование другого типа насоса. Затраты на электроэнергию, необходимую для работы насоса, могут (при пересчете на весь срок его службы) составить 80 – 90% всех расходов на эксплуатацию насоса. Следовательно, КПД насоса является одним из важнейших аспектов при его выборе.

Правильно определить момент, когда необходима очистка и техническое обслуживание насоса, можно, если непрерывно контролировать насосы отдельных скважин, протоколируя при этом такие важные эксплуатационные характеристики, как подача, давление и уровень воды.

При непрерывной индикации указанных характеристик (включая расход электроэнергии на 1 м^3 выкачиваемой воды, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$) отпадает необходимость в пробном пуске насоса, поскольку эти характеристики позволяют сделать важные выводы для возможной смены типоразмера насоса.

СИСТЕМА НАПОРНОГО ТРУБОПРОВОДА ДЛЯ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ

Правильный расчет системы трубопровода между скважиной и установкой по очистке воды имеет важное значение в определении стоимости технического обслуживания и эксплуатационных расходов. При этом необходимо выполнить следующие требования.

- 1. Минимальные потери на трение** → минимальное потребление электроэнергии.
- 2. Предусматривание смотровых лючков** → дешевая и быстрая ликвидация отложений металлических окислов в процессе периодического осмотра насоса и фильтра скважины.
- 3. Демпфирование гидравлических ударов** → невозможность проникновения загрязнений при перепадах давления.

Перепады диаметров трубопровода и расхода насосов в соответствии с ожидаемыми значениями Q_{\max} приведены на рис. 10. Потери на трение в системе трубопровода колеблются в зависимости от числа насосов. Колебания потерь на трение оказывают влияние на рабочие точки насосов и, следовательно, на их экономичность при эксплуатации. Наиболее пригодны для системы трубопроводов те насосы, которые во всех ситуациях имеют оптимальный общий КПД.

Пример

Подача Q_{\max} исходной воды 210 м³/ч

Подача Q_{\max} для удовлетворения дневной потребности 2750 м³/день

Подача Q_{\max} для удовлетворения ночной потребности 25 м³/ч

Подача Q_{\max} для удовлетворения средней потребности 500000 м³/год

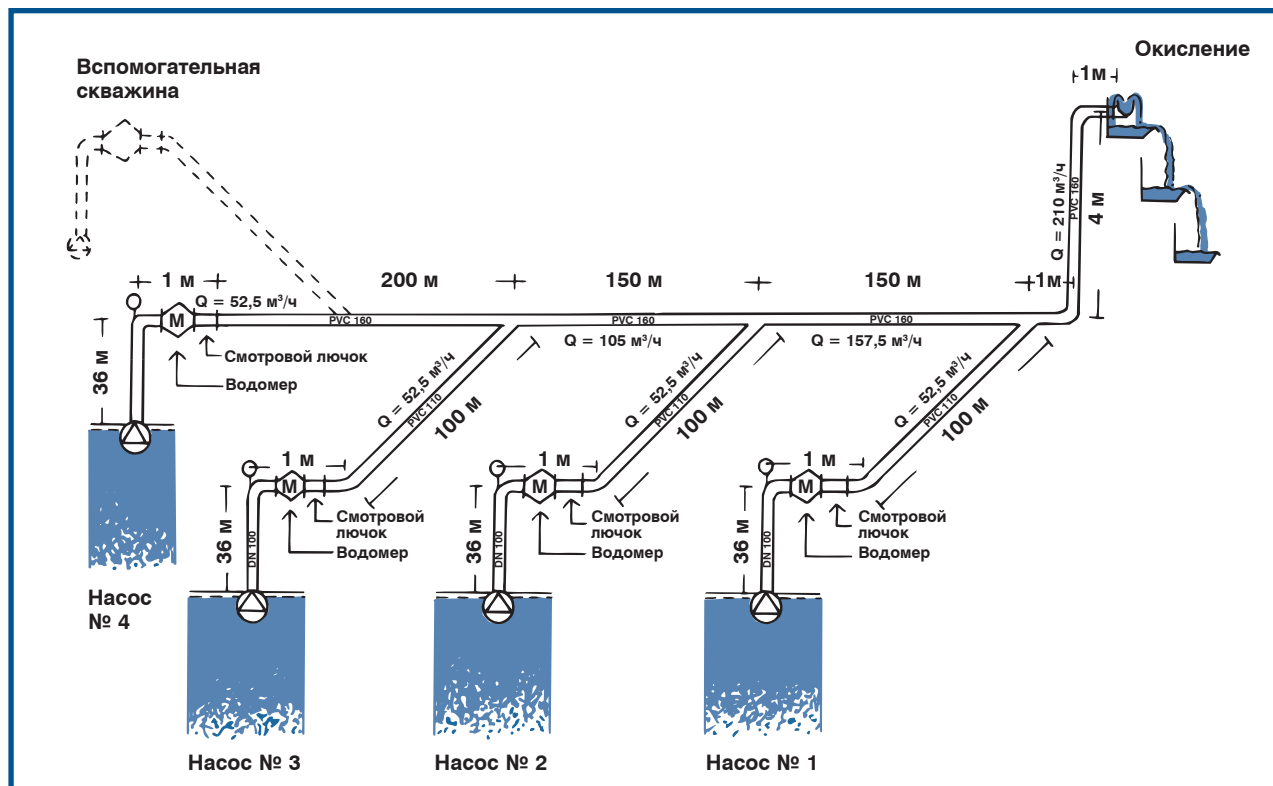


Рис. 10. Размеры трубопровода и расход насосов при расчетном Q_{\max}

СИСТЕМА ТРУБОПРОВОДОВ

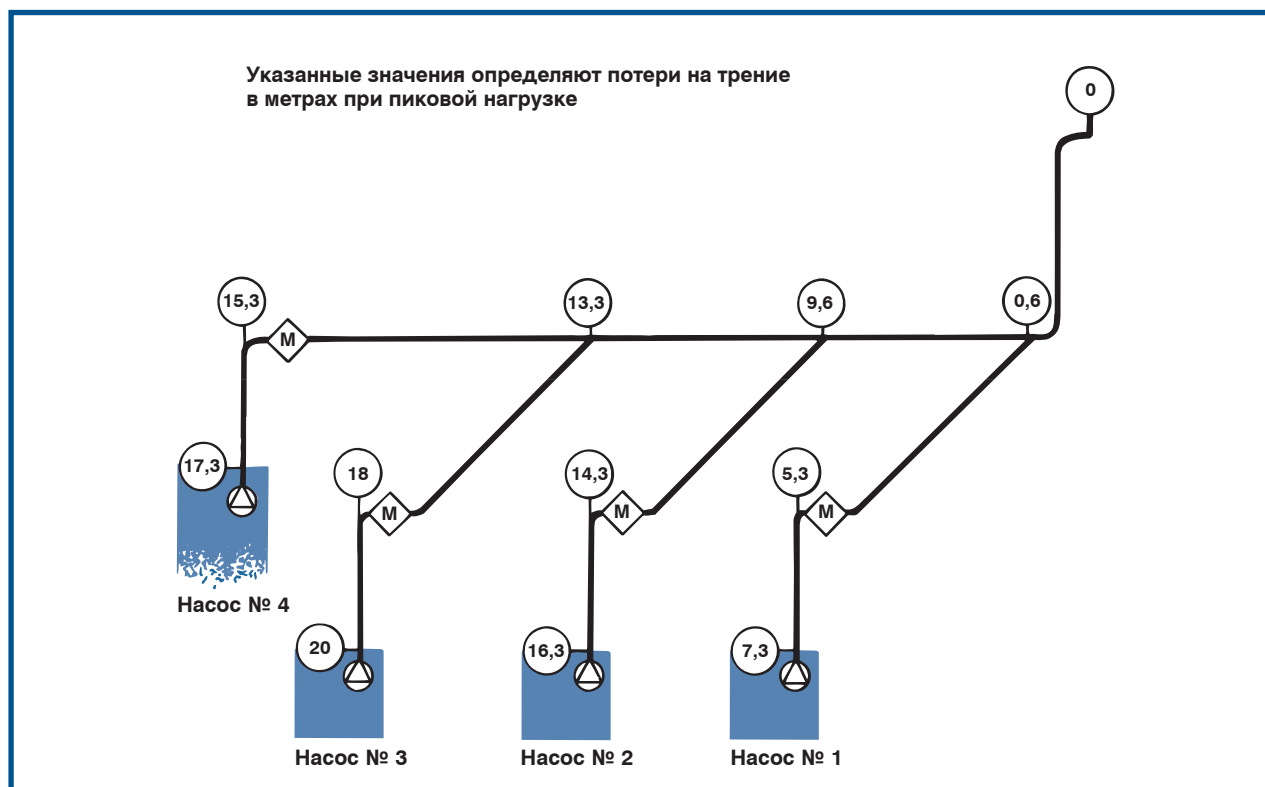


Рис. 11. Потери на трение в соответствии с ожидаемым $Q_{\text{макс}}$.

№ п / п		Насос №1	Насос №2	Насос №3	Насос №4
1	Статический напор, м	40	40	40	40
2	Потери на трение, м	7,3	16,3	20	17,3
3	Суммарный напор, м	47,3	56,3	60	57,3
4	Подача, м ³ /ч	58	58	52,6	56
5	Положение на кривой КПД	Слева от оптимума	Слева от оптимума	Слева от оптимума	Слева от оптимума
6	Тип насоса и мощность электродвигателя	SP 60-6 11 кВт	SP 60-7 13 кВт	SP 60-7 13 кВт	SP 60-7 13 кВт
7	P_2 , кВт	10,2	11,9	11,9	11,9
8	Нагрузка электродвигателя, %	92%	91%	91%	91%
9	Потребление тока, А и $\cos \phi$ при частоте 50 Гц, $3 \cdot 400$ В	22 А 0,81	26 А 0,79	26 А 0,79	26 А 0,79

10 а	P_1 , кВт = $\sqrt{3} \cdot 400 \cdot I \cdot \cos \phi$	12,3	14,2	14,2	14,2
10 б	Расчет величин P_1 , кВт: $\frac{P_2}{\eta_{\text{электродвигателя}}}$	$\frac{10,2}{0,82} =$	$\frac{11,9}{0,83} =$	$\frac{11,9}{0,83} =$	$\frac{11,9}{0,83} =$
11	Суммарный КПД, % $\frac{Q \times H \times 9,81 \times 100}{3,6 \times P_1 \times 10^3}$	61%	62%	62%	61%
12	Потребляемая мощность P_1 , на 1 м ³ , кВт-ч/м ³	$\frac{12,3}{58} =$ 0,21	$\frac{14,2}{58} =$ 0,25	$\frac{14,2}{52,6} =$ 0,27	$\frac{14,2}{56} =$ 0,25
13	Повышение потребляемой мощности от больших потерь на трение по сравнению с насосом 1	0%	+19%	+28%	+19%

Из таблицы видно, что, как показано в строке 2, потери на трение у насосов № 2, 3 и 4 выше, чем у насоса № 1. Также видно, что в строке 11 суммарный КПД составляет 61–62%. Это приводит (строка 13) к увеличению расходов на электроэнергию на каждый 1 м³ воды даже при том же КПД.

Рабочие характеристики потребляемой мощности насосов 1–4 приведены на рис. 12 и 13.

Отсюда следует, что большую часть воды должен откачивать насос № 1, т.е. этот насос первым нужно включать и последним отключать. Насосы № 2, 3 и 4 попеременно включают при пиковых нагрузках (с более коротким временем эксплуатации и, соответственно, меньшими эксплуатационными расходами). Рабочая точка и КПД насосов, работающих в условиях пиковых нагрузок, имеют меньшее значение, поскольку такие ситуации в течение года возникают лишь на несколько часов. Перекачивание воды происходит преимущественно в условиях средних нагрузок. Потери на трение при эксплуатации только насоса № 4 показаны на рис. 4.

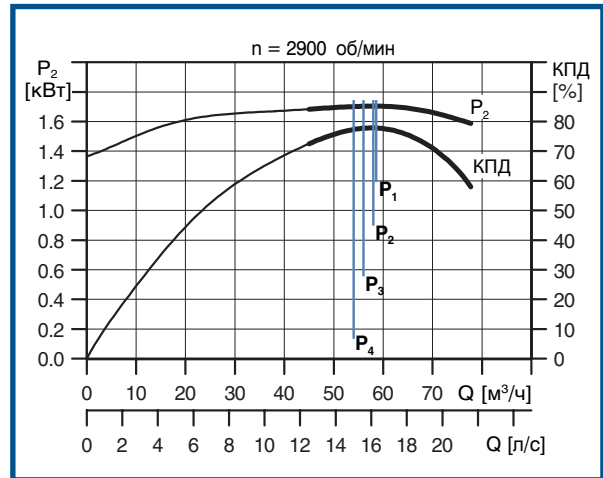


Рис. 12. Диаграмма потребляемой мощности (P₂) насосов при максимальной нагрузке

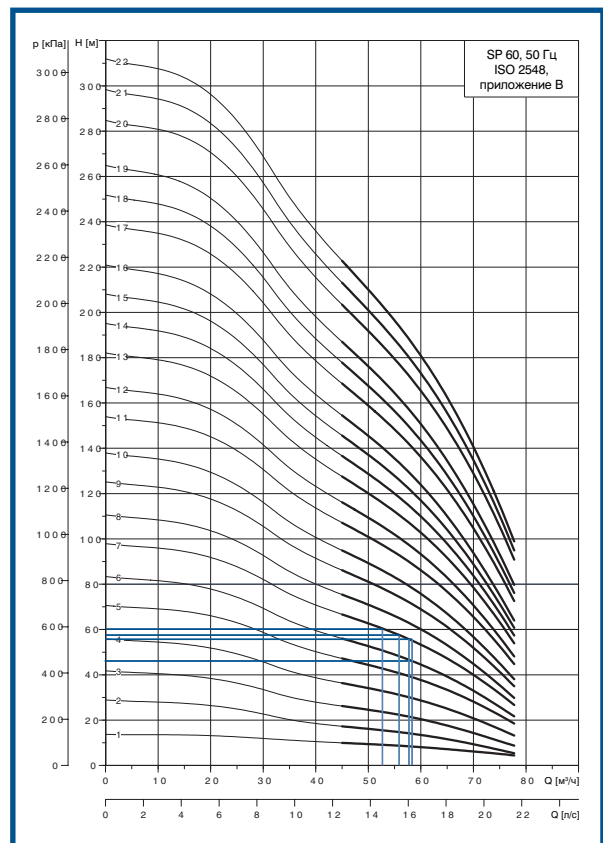


Рис. 13. Рабочие характеристики

СИСТЕМА ТРУБОПРОВОДОВ

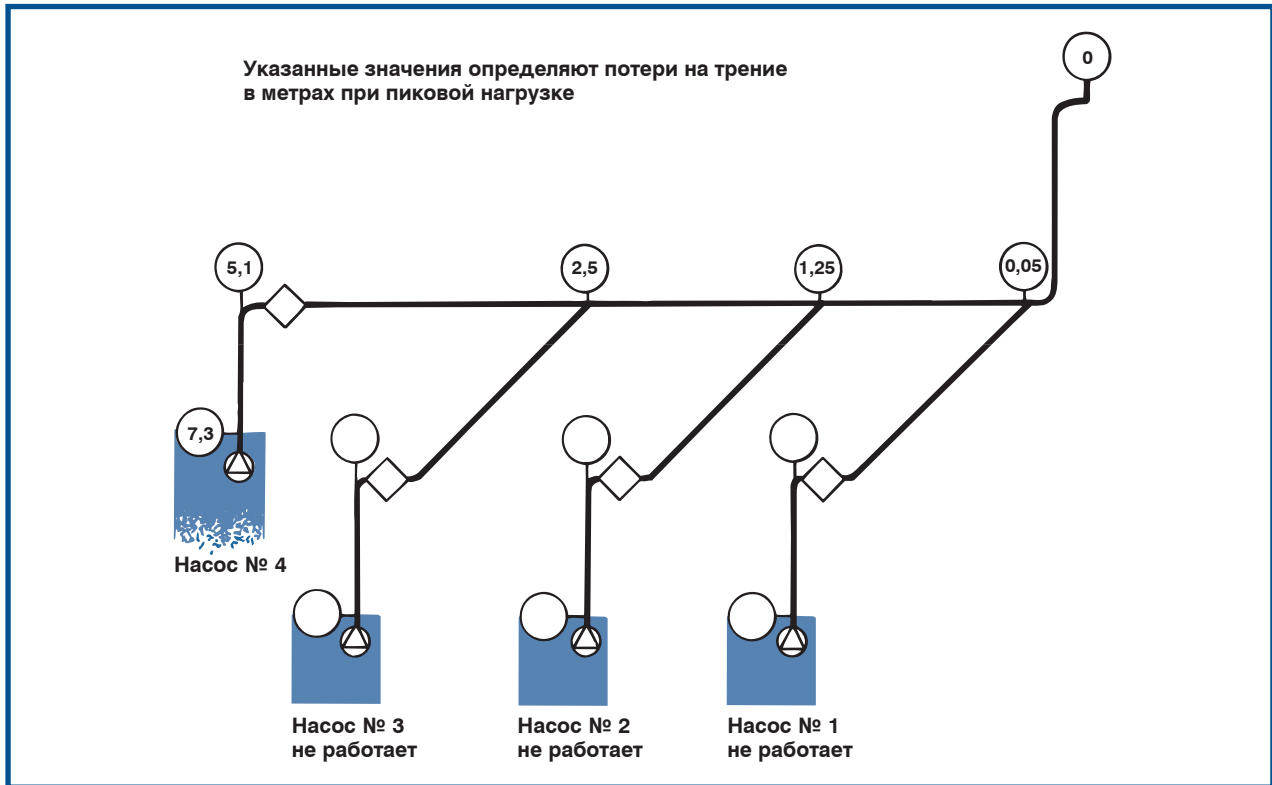


Рис. 14. Потери на трение при эксплуатации только насоса № 4

№ п / п		Насос №1	Насос №2	Насос №3	Насос №4
1	Статический напор, м				40
2	Потери на трение, м				7,3
3	Суммарный напор, м				47,3
4	Подача, м ³ /ч				66,0
5	Положение на кривой КПД				Справа от оптимума
6	Тип насоса и мощность электродвигателя				SP 60-7 13 кВт
7	P ₂ , кВт				11,9
8	Нагрузка электродвигателя, %				91%
9	Потребление тока, А и cos φ при частоте 50 Гц, 3 · 400 В				26 А 0,79

Насосы №1, 2 и 3 не работают

10 а	$P_1 \text{ кВт} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot I}{\cos \phi}$				14,2
10 б	Расчет величин P ₁ , кВт: $\frac{P_2}{\eta_{\text{электродвигателя}}}$				$\frac{11,9}{0,83} = 14,3$
11	Суммарный КПД, % $\frac{Q \times H \times 9,81 \times 100}{3,6 \times P_1 \times 10^3}$				60%
12	Потребляемая мощность P ₁ , на 1 м ³ , кВт-ч/м ³				0,22
13	Повышение потребляемой мощности от больших потерь на трение по сравнению с насосом 1				5-10%

Насосы №1, 2 и 3 не работают

Из таблицы видно, что насос № 4 как насос, несущий основную нагрузку, увеличил подачу на 18% (до 66 м³/ч, как показано в строке 4) благодаря уменьшению своих потерь на трение (до 7,3 м, как показано в строке 2). Потребляемая мощность P_1 составляет 0,22 кВт-ч/м³ (строка 12). Суммарный КПД насоса и электродвигателя достигает 60% (строка 11).

Характеристика потребляемой мощности (P_2) при базовой нагрузке насоса № 4 приведена на рис. 15.

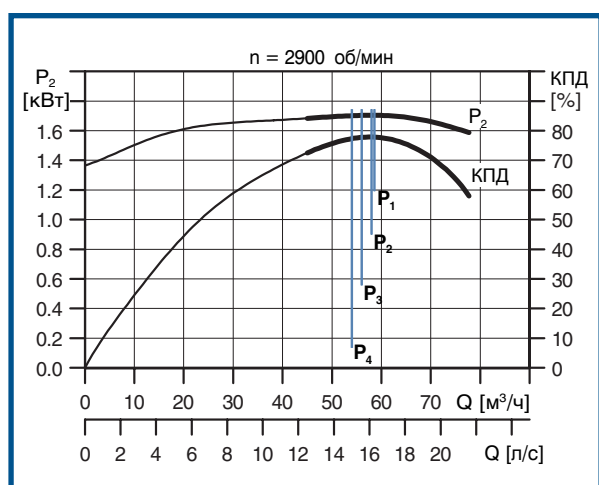


Рис. 15. Потребляемая мощность (P_2) при базовой нагрузке насоса № 4

КПД основного насоса должен быть максимальным или располагаться вблизи максимума кривой КПД. При каждом подключении дополнительного насоса эта точка смещается влево. Если работают все насосы, то у каждого насоса, из-за повышенных потерь на трение, отмечается снижение мощности.

Важно сохранять потери на трение на самом низком уровне. При годовом дебите 500.000 м³ система за 10 лет потребляет 1.250.000 кВт-ч электроэнергии.

Если бы у трубопровода были запроектированы большие диаметры, за 10 лет это могло бы дать экономии электроэнергии в размере 200.000 кВт-ч.

Определение оптимального рабочего диапазона значительно облегчается при установке пульта управления CU 3 и расходомера. Кроме того, это помогает выбрать оптимальное время технического обслуживания, очистки труб и т. д.

Параллельная работа

В случае значительных колебаний водопотребления с высокими пиками и соответственно резкими снижениями уровня подземных вод или высоким противодавлением (вызываемым потерями на трение или засором напорного фильтра) предусматривают следующие меры:

- применение нескольких насосов меньшей мощности, подключаемых каскадно;
- частотное регулирование насоса с помощью преобразователя частоты и датчика давления.

В скважине, у которой в течение незначительного времени возникают резкие снижения динамического уровня воды, появление отложений в пазах труб фильтров и гравийной засыпки вероятнее, чем в скважине, в течение длительного времени имеющей равномерную нагрузку. Отложения в трубах фильтра снижают производительность скважины и сокращают интервалы между регенерациями.

Схема снижения уровня воды в скважине в зависимости от расхода насоса приведена на рис. 16.

При выкачивании воды из большой скважины частоту возникновения резких снижений уровня можно значительно сократить, установив в одной скважине (если это допускает ее диаметр) насос для основной нагрузки и насос, рассчитанный на пиковые нагрузки. При выкачивании воды из нескольких скважин насосы следует комбинировать таким образом, чтобы иметь возможность обеспечивать потребный расход с минимальным падением уровня грунтовых вод, минимальными потерями на трение в системе трубопроводов и при минимальном давлении в фильтре.

При каскадном включении параллельно работающих насосов или при регулировании частоты можно увеличить период времени между текущим сервисным обслуживанием скважины и повысить качество очистки воды.

При выборе насоса нужно основываться либо на протоколе скважины, либо на отчете о пробном пуске насоса. При этом учитывают значения по меньшей мере двух видов гидравлического сопротивления применительно к потребному расходу воды: для чистого скважинного фильтра и для засоренного скважинного фильтра. Эти значения можно получить путем измерений в процессе эксплуатации или путем расчетов. Кроме того, необходимо знать пиковое водопотребление и колебания уровня подземных вод.

Пример (см. таблицы)

Насос со 100% расходом и аналогичный вспомогательный насос во время работы вызывают резкое понижение уровня грунтовых вод и поэтому неэкономичны.

Требования		
Ежегодное водопотребление		390.000 м ³
Полная загрузка	365 ч/год	200 м ³ /ч
Частичная загрузка	915 ч/год	около 120 м ³ /ч
Основная загрузка	2920 ч/год	около 65 м ³ /ч

Измеренные значения при пробном пуске насоса		
Скважина № 1 (Æ 350 мм), температура воды 14 °С		
Подача м ³ /ч	Динамический уровень воды, м	Перепад см/м ³ /ч
0	70	
50	72,5	5
75	73,75	5
100	75	5
125	77	8
150	81	16
200	103	44

Измеренные значения при пробном пуске насоса		
Скважина № 2 (Æ 350 мм), температура воды 20 °С		
Подача м ³ /ч	Динамический уровень воды, м	Перепад см/м ³ /ч
0	69,5	
50	72	
75	73,25	5
100	74,5	5
125	76,5	8
150	80,5	16
200	102,5	44

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПРИ НЕСТАБИЛЬНОМ ВОДОПОТРЕБЛЕНИИ

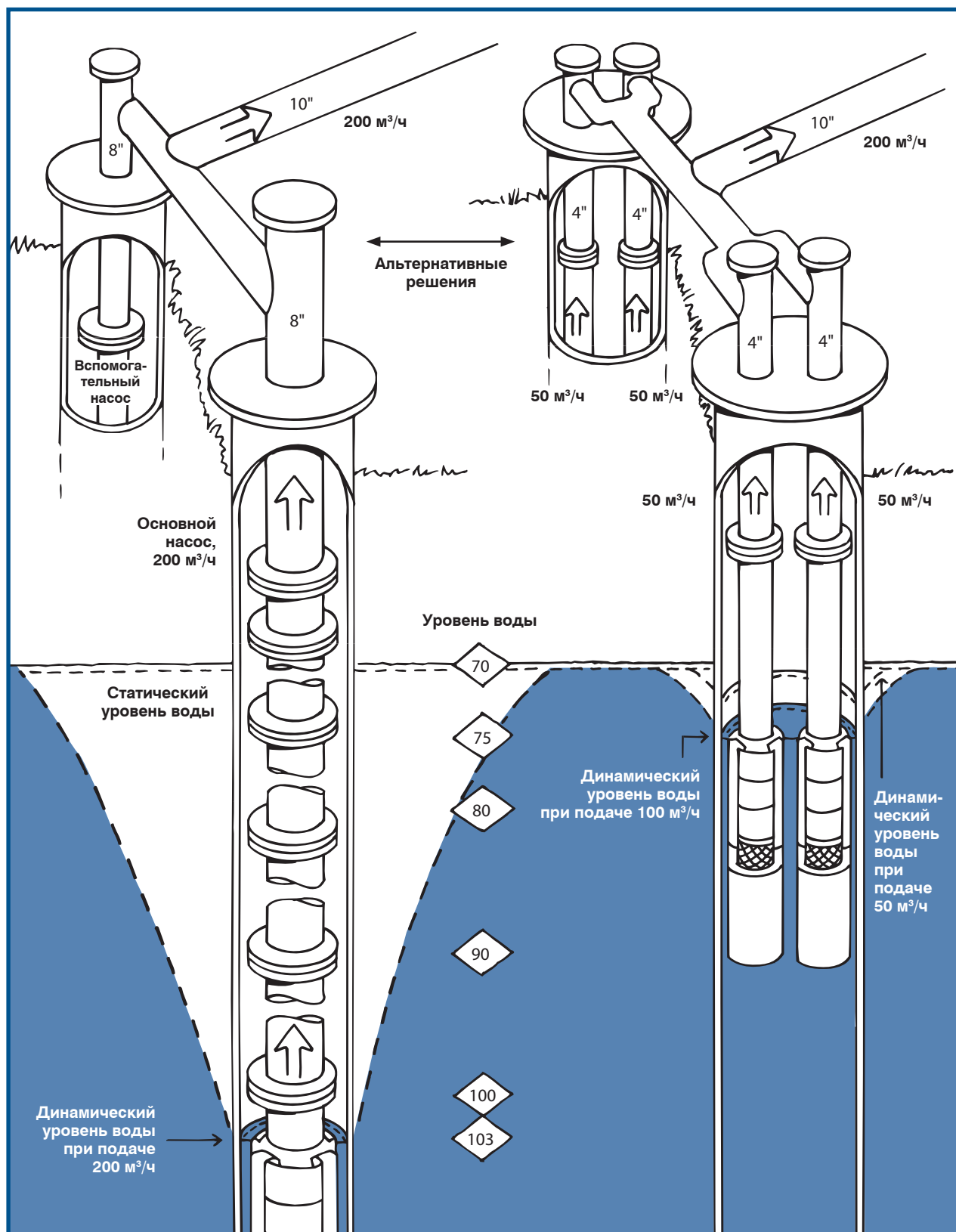


Рис. 16. Понижение уровня воды в зависимости от расхода

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПРИ НЕСТАБИЛЬНОМ ВОДОПОТРЕБЛЕНИИ

4

Потери на трение при подаче 200 м³/ч на один насос	
Подъемная труба, длиной 120 м, DN 200 при подаче 200 м³/ч	2,60 м
Основная труба длиной 100 м, PVC 200 при подаче 200 м³/ч	2,50 м
Основная труба, длиной 100 м, PVC 250 при подаче 200 м³/ч	0,75 м
Засоренный напорный фильтр перед обратной промывкой	19,14 м
Напорный фильтр, подвергнутый обратной промывке	9,0 м
Максимальные потери на трение	24,99 м
Статический напор	102,50 м
Суммарный напор	127,49 м

Применяемый насос: один насос модели SP 215-5, восьмидюймовый, оснащенный электродвигателем MMS 8000 мощностью 92 кВт		
$h_p \sim 80\%$	$h_m = 86\%$	$P_2 = 89 \text{ кВт}$
$I = 180 \text{ А/400 В}$	$\cos \varphi = 0,85$	
Нагрузка на электродвигатель = 97%		
$P_1 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 180 \cdot 0,85 = 106,0 \text{ кВт}$		
Вариант расчета:		
$P_1 = \frac{P_2}{\eta_{\text{электродвигателя}}} = \frac{89}{0,86} = 104 \text{ кВт}$		

Количество часов эксплуатации насоса в год
$= \frac{390.900}{200} = 1.954 \text{ ч}$
Электроэнергия, потребляемая в течение года
$= 106,0 \cdot 1.954 = 207.124 \text{ кВт-ч}$
Удельный расход электроэнергии
$= \frac{207.124}{390.900} = 0,53 \text{ кВт-ч/м}^3$

Заключение

Хотя при таком решении суммарный КПД системы насос + электродвигатель очень высок вследствие резкого снижения уровня (и соответствующего сокращения времени между двумя процессами промывки скважины либо постоянно высокого гидравлического сопротивления), распределение отведения воды из скважины несколькими каскадно включаемыми насосами значительно экономичнее.

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ РЕШЕНИЕ: распределение максимальной подачи по четырем насосам в двух скважинах при полной нагрузке	
Потери на трение при пиковой нагрузке четырех насосов с подачей 50 м³/ч у каждого	
Подъемная труба, длиной 80 м, DN 100 при подаче 50 м³/ч	3,36 м
Основная труба длиной 100 м, PVC 200 при подаче 100 м³/ч	1,75 м
Основная труба, длиной 100 м, PVC 250 при подаче 200 м³/ч	0,75 м
Засоренный напорный фильтр перед обратной промывкой	19,14 м
Напорный фильтр, подвергнутый обратной промывке	9,0 м
Максимальные потери на трение	25,00 м
Статический напор	75,00 м
Суммарный напор при полной нагрузке	100,00 м

Применяемый насос: четыре насоса модели SP 60-11, оснащенные электродвигателями модели MS 6000 мощностью 22 кВт		
$h_p \sim 76\%$	$h_m = 84\%$	$P_2 = 18,7 \text{ кВт}$
$I = 40 \text{ А/400 В}$	$\cos \varphi = 0,81$	
Нагрузка на электродвигатель = 85%		
$P_1 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 40 \cdot 0,81 \cdot 4 = 90 \text{ кВт}$		
Вариант расчета:		
$P_1 = \frac{P_2}{\eta_{\text{электродвигателя}}} = \frac{18,7}{0,84} = 89 \text{ кВт}$		

Количество часов эксплуатации насоса в год
$= 365 \text{ ч}$
Электроэнергия, потребляемая в течение года
$= 90 \cdot 365 = 32.850 \text{ кВт-ч}$
Удельный расход электроэнергии
$= \frac{32.850}{200 \cdot 365} = 0,45 \text{ кВт-ч/м}^3$

Заключение

Несмотря на меньший суммарный КПД системы насосы + электродвигатели это решение более экономично. При пиковой нагрузке выкачивание воды происходит равномерно из двух скважин.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПРИ НЕСТАБИЛЬНОМ ВОДОПОТРЕБЛЕНИИ

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ РЕШЕНИЕ: распределение максимальной подачи по четырем насосам в двух скважинах при базовой нагрузке	
Потери на трение при базовой нагрузке 1 · 65 м³/ч	
Подъемная труба, длиной 80 м, DN 100 при подаче 65 м³/ч	6,0 м
Основная труба длиной 100 м, PVC 200 при подаче 65 м³/ч	0,30 м
Сборная труба, длиной 100 м, PVC 250 при подаче 65 м³/ч	0,10 м
Засоренный напорный фильтр при подаче 50 м³/ч	2,11 м
Напорный фильтр, подвергнутый обратной промывке 0,00025 · 65² =	1,06 м
Потери на трение при подаче 65 м³/ч, базовая нагрузка	7,46 м
Статический напор 72 + (0,05 · 15) =	72,75 м
Суммарный напор при базовой нагрузке	80,21 м

Применяемый насос: один насос модели SP 60-11, оснащенный электродвигателем модели MS 6000 мощностью 22 кВт		
$h_p \sim 76\%$	$h_m = 84\%$	$P_2 = 18,7 \text{ кВт}$
$I = 40 \text{ А/400 В}$	$\cos \varphi = 0,81$	
Нагрузка на электродвигатель = 85%		
$P_1 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 40 \cdot 0,81 = 22,5 \text{ кВт}$		
Вариант расчета:		
$P_1 = \frac{P_2}{\eta_{\text{электродвигателя}}} = \frac{18,7}{0,84} = 22,3 \text{ кВт}$		

Количество часов эксплуатации насоса в год = 2.920 ч с одним насосом
Электроэнергия, потребляемая в течение года при базовой нагрузке = 22,5 · 2.920 = 65.700 кВт·ч
Удельный расход электроэнергии = $\frac{65.700}{65 \cdot 2.920} = 0,35 \text{ кВт·ч/м}^3$

Заключение

Во время основной нагрузки экономическая эффективность значительно увеличивается. Причины такого увеличения заключаются в уменьшении снижения уровня воды в скважине и в минимальных потерях на трение в трубах и в фильтровальной системе, что ведет к улучшению качества очистки.

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ РЕШЕНИЕ: распределение максимальной подачи по четырем насосам в двух скважинах при частичной нагрузке	
Потери на трение при частичной нагрузке 2 · 60 м³/ч	
Подъемная труба, длиной 80 м, DN 100 при подаче 60 м³/ч	5,60 м
Основная труба длиной 100 м, PVC 200 при подаче 60 м³/ч	0,24 м
Сборная труба, длиной 100 м, PVC 250 при подаче 120 м³/ч	0,20 м
Засоренный напорный фильтр при подаче 120 м³/ч	
Напорный фильтр, подвергнутый обратной промывке 0,00025 · 120² =	3,60 м
Потери на трение при подаче 120 м³/ч, частичная нагрузка	9,64 м
Статический напор 72 + (0,05 · 15) =	72,75 м
Суммарный напор при частичной нагрузке	82,39 м

Применяемый насос: два насоса модели SP 60-11, оснащенные электродвигателями модели MS 6000 мощностью 22 кВт		
$h_p \sim 78\%$	$h_m = 84\%$	$P_2 = 18,7 \text{ кВт}$
$I = 40 \text{ А/400 В}$	$\cos \varphi = 0,81$	
Нагрузка на электродвигатель = 85%		
$P_1 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 40 \cdot 0,81 \cdot 2 \text{ (насоса)} = 45 \text{ кВт}$		
Вариант расчета:		
$P_1 = \frac{P_2}{\eta_{\text{электродвигателя}}} = \frac{18,7}{0,84} \cdot 2 = 44,5 \text{ кВт}$		

Количество часов эксплуатации насоса в год = 915 ч с двумя насосами
Электроэнергия, потребляемая в течение года при частичной нагрузке = 45 · 915 = 41.175 кВт·ч
Удельный расход электроэнергии = $\frac{41.175}{120 \cdot 915} = 0,38 \text{ кВт·ч/м}^3$

Заклучение

Величина потребляемой электроэнергии при водоснабжении в течение целого года при параллельной работе четырех насосов в периоды пиковой, основной и частичной нагрузок составляет: 32.850 + 67.500 + 41.175 кВт·ч = 139.725 кВт·ч. Это соответствует 67% (139.725 / 207.124 · 100) электро-

энергии, потребляемой системой с одним главным и одним вспомогательным насосом. Следовательно, получаемая годовая экономия составляет 33%, что соответствует 673.990 кВт·ч за 10 лет.

Качество очистки воды в периоды основной и частичной нагрузки (91% времени работы насосов) при добыче воды из двух скважин четырьмя насосами улучшается. Расходы на очистку скважин сокращаются, поскольку резкое снижение уровня воды наступает лишь на 365 ч за весь год, что составляет всего 20% от снижения, возникающего при работе одного основного и одного резервного насосов на 1.955 ч в год.

Водоснабжение при выходе одного насоса из строя

При выходе из строя одного насоса оставшиеся три обеспечивают расход 170 м³/ч, что составляет 85% от общей потребности.

Если этого недостаточно, можно установить агрегат для аварийного водоснабжения.

Рабочие характеристики четырех насосов при их параллельной эксплуатации с частичной нагрузкой приведены на рис. 17.

Системы управления скважинных насосов и установок повышения давления

Установки повышения давления в системах распределения необработанной и чистой воды при необходимости требуются для ликвидации потерь на трение в случаях:

- высоко расположенных потребителей
- магистралей (в особенности со старыми трубами), в которые не может подаваться очень высокое давление из скважины или насосной станции

Для таких случаев GRUNDFOS предоставляет комплекты станции повышения давления, бесшумно работающие, не требующие технического обслуживания, коррозионно-стойкие.

Установки повышения давления изготавливаются GRUNDFOS в соответствии с производственными требованиями и пожеланиями заказчиков.

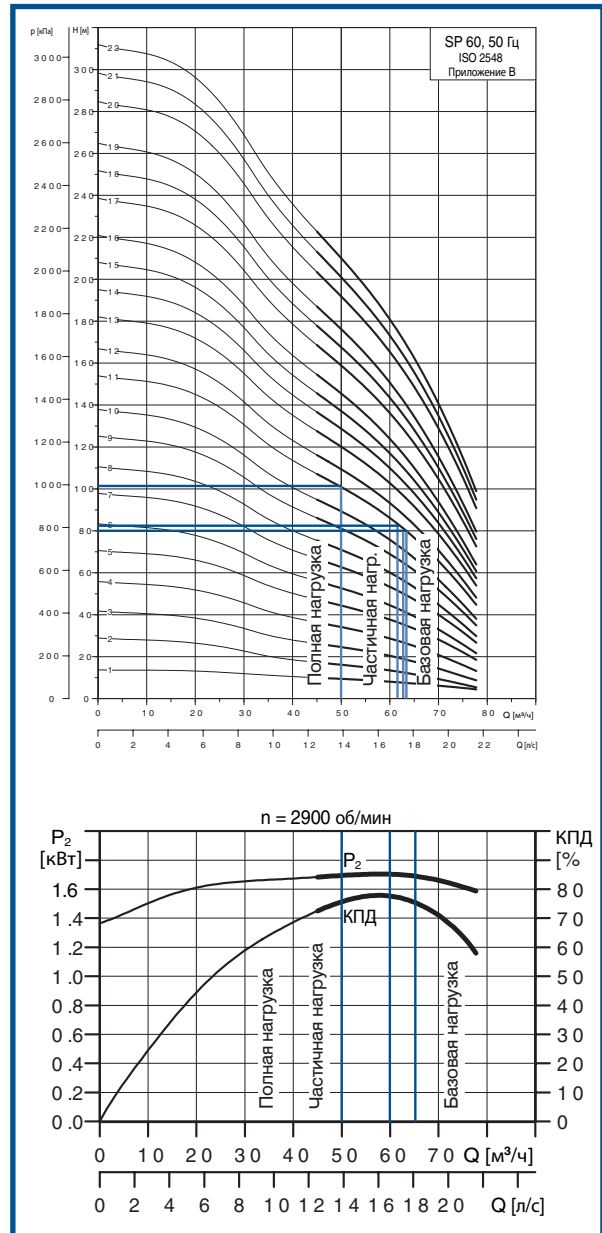


Рис. 17. Рабочие характеристики четырех насосов при их параллельной работе с частичной нагрузкой

Методы снижения пусковых токов

Следующие указания относятся к насосам с радиальными и полурadiaльными рабочими колесами, а также к насосам GRUNDFOS SP. Особые условия эксплуатации насосов с осевыми рабочими колесами здесь не учитываются.

Поскольку пусковой ток электродвигателя насоса нередко в 4–7 раз выше тока полной нагрузки, сеть электроснабжения и электродвигатель на короткое время подвергаются существенной пиковой нагрузке.

Во многих странах для защиты электрической сети существуют рекомендации по снижению пусковых токов. Ниже описаны следующие способы их снижения:

- DOL** — прямое включение
- SD** — включение методом «звезда-треугольник»
- AF** — пусковой трансформатор
- SS** — плавный пуск
- FC** — преобразователь частоты

Перед выбором метода снижения пусковых токов необходимо тщательно проверить области применения, технические требования и местные предписания и нормы.

Способ снижения пусковых токов	Снижение пускового тока	Стоимость	Соотношение цена/производительность	Занимаемая площадь	Удобен ли для потребителя?	Надежность	Снижение импульса давления		Экономия электроэнергии при эксплуатации
							механического	гидравлического	
DOL	нет	низкая	хорошее	небольшая	да	да	нет	нет	нет
SD менее 30 кВт более 30 кВт	нет	низкая	низкое	небольшая	да	да	нет	нет	нет
	да	низкая	хорошее	небольшая	да	да	да	нет	нет
AF	да	средняя	хорошее	средняя	да/нет	да	да/нет	нет	нет
SS	да	средняя	хорошее	средняя	да/нет	да/нет	да	да	да/нет
FC	да	высокая	хорошее	высокая/средняя	да/нет	да/нет	да	да/нет	да/нет

Метод прямого включения — DOL

При пуске методом DOL, как показано на рис. 19, контактор или аналогичные устройства подключают к сети напрямую.

При прочих постоянных параметрах пуск методом DOL является тем способом пуска, при котором в электродвигателе возникает минимальное количество тепла и тем самым у электродвигателей мощностью до 30 кВт обеспечивается максимальный срок службы. Однако у электродвигателей большей мощности механическая нагрузка настолько велика, что GRUNDFOS рекомендует снижать токи.



Рис. 19. Электрические характеристики прямого включения погружных электродвигателей методом DOL

Метод включения

«звезда-треугольник» — SD

Наиболее часто применяемым методом снижения пусковых токов является пуск электродвигателя способом «звезда-треугольник». Во время пуска электродвигатель включен способом «звезда», а после окончания пуска переключается на «треугольник». Такое переключение производится автоматически через заданный временной интервал. При пуске в положении «звезда» ток на треть ниже, чем при пуске путем прямого включения. Такой метод относительно дешев, прост и надежен, поэтому применяется довольно часто.

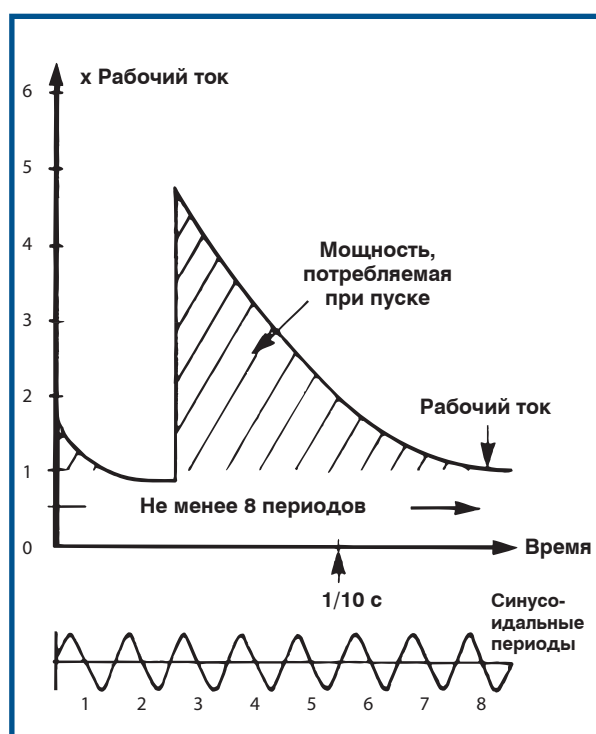


Рис. 20. Пуск электродвигателя по методу «звезда-треугольник»

Для насосов с малым моментом инерции, например погружных, пуск по методу «звезда-треугольник» не очень эффективен и даже неэкономичен. Дело в том, что диаметр погружных насосов и их приводных электродвигателей невелик. Поэтому масса рабочего колеса насоса мала, вследствие чего мал и момент инерции. В результате погружным насосам для разгона от 0 до 2900 мин^{-1} требуется всего лишь 0,1 с. Это означает также, что насос при отключении тока сразу же останавливается.

Сравнение пусковых токов, возникающих при прямом включении и при включении по методу «звезда-треугольник», показывает на первом этапе заметное уменьшение величины тока. При переключении со звезды на треугольник насос быстро останавливается и во второй раз должен пускаться напрямую. Из диаграммы (рис. 20) видно, что на втором этапе значительного сокращения пускового тока уже не происходит.

Несколько по-другому складывается ситуация у центробежных насосов, имеющих большой диаметр и большую массу и обладающих, соответственно, большим моментом инерции. У электродвигателей мощностью свыше 30 кВт при пуске методом «звезда-треугольник» можно достигнуть значительного снижения второго пика тока.

Следует указать, что слишком долгая эксплуатация электродвигателя в режиме «звезды» приводит к его значительному перегреву и, следовательно, сокращает срок службы.

Системы, содержащие скважинные насосы с электродвигателями, включаемыми по методу SD, часто бывают дороже, чем другие аналогичные установки, поскольку в этом случае для электродвигателя требуется два соединительных кабеля (вместо обычно необходимого одного).

Метод включения электродвигателя через пусковой трансформатор — АФ

При этом методе пуска напряжение снижается с помощью трансформаторов (обычно двух), по одному на каждую фазу. Этот метод называют также методом Корндорфа. Трансформаторы часто имеют два сетевых выхода: один на 75% и другой на 60%. При использовании 60%-ного выхода происходит снижение пускового тока, как при пуске по методу «звезда-треугольник».

При пуске электродвигатель получает сначала пониженное напряжение, а затем полное. При переключении обмотки трансформатора подключены как дроссельные катушки. Это означает, что электродвигатель все время остается связанным с сетью и частота вращения электродвигателя не снижается. Потребление электроэнергии при пуске показано на схеме (рис. 21).

Пусковые трансформаторы относительно дороги, но очень надежны. Естественно, пусковой ток определяется характеристиками электродвигателя и насоса и в зависимости от их типоразмеров может значительно колебаться.



Рис. 21. Пуск электродвигателя через пусковой трансформатор

СПОСОБЫ ПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Плавный пуск электродвигателя — SS

Устройство для плавного пуска электродвигателя представляет собой электронный прибор, снижающий напряжение и, соответственно, пусковой ток путем фазового управления. Электронный прибор содержит регулировочный блок, где настраиваются рабочие и защитные параметры, и силовой блок с симметричным триодным тиристором (триак). Пусковой ток ограничен, как правило, величиной, в 2–3 раза превышающей рабочий ток.

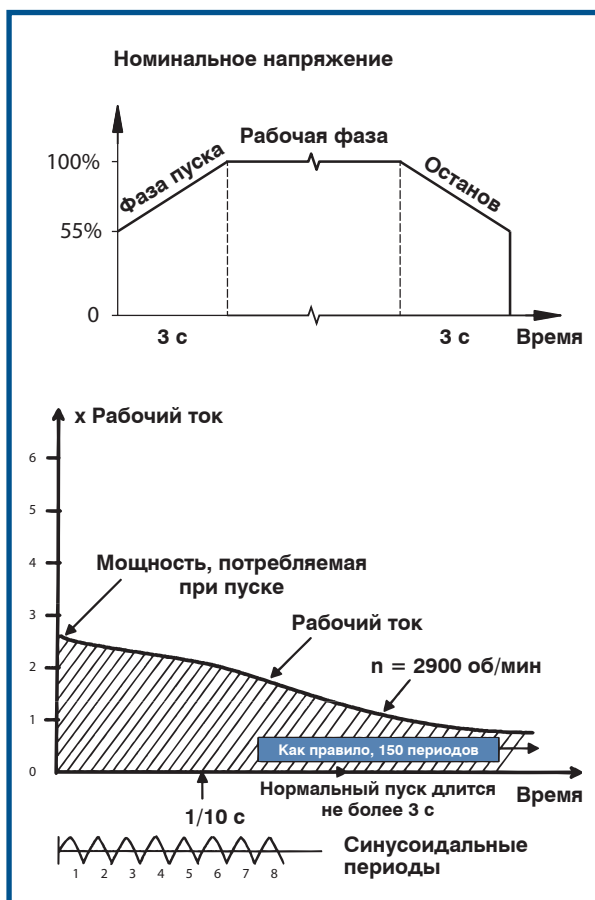


Рис. 22. Плавный пуск электродвигателя

При сохранении прочих параметров выключение электродвигателя по этому методу также дает снижение начального пускового момента. Наличие инерции в процессе пуска может привести к значительному теплообразованию в электродвигателе и тем самым к снижению его срока службы. Однако эта проблема при коротком времени ускорения/замедления, например в течение трех секунд, не имеет

практического значения. Это утверждение относится также к пуску электродвигателей по методам SD (включение через «звезду-треугольник») и AF (включение через пусковой трансформатор).

GRUNDFOS рекомендует соблюдать для плавного пуска приведенные в графике (рис. 22) временные параметры ускорения/замедления.

В том случае, если требуется особенно высокий пусковой момент, пусковое напряжение можно повысить на 55%. Однако при нормальных условиях эксплуатации для электродвигателей, которыми оснащаются насосы GRUNDFOS, этого не требуется.

При плавном пуске электродвигателя его выключатель обеспечивает подачу тока несинусоидальной формы и в определенной мере создает высшие гармоники. В связи с очень короткими периодами ускорения/торможения с практической точки зрения это не находит большого применения.

Выключатель плавного пуска рекомендуется устанавливать вместе с обходным контактором с тем, чтобы электродвигатель в процессе эксплуатации работал в режиме DOL. Таким образом, в процессе эксплуатации электродвигателя с прибором для плавного пуска уменьшается его износ и потери мощности.

В том случае, если плавный пуск электродвигателей GRUNDFOS производится через обходной контактор, они могут работать с системой тепловой защиты (Tempcon).

Пуск с помощью преобразователя частоты — FC

Пуск электродвигателя с помощью преобразователя частоты представляет собой идеальный вариант пуска с точки зрения уменьшения пускового тока, а также в этом случае не создается скачок давления в системе. Схема такого пуска показана на рис. 23.

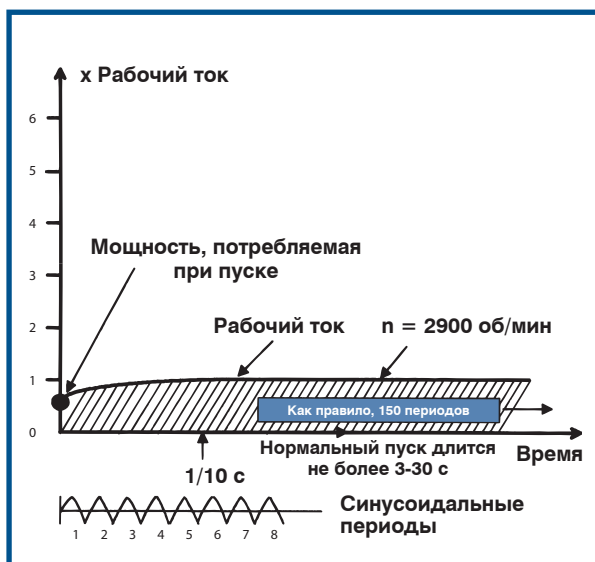


Рис. 23. Пуск электродвигателя посредством преобразователя частоты

Преимущество этого метода состоит в том, что пусковой ток все время удерживают на уровне номинального тока электродвигателя. Это означает, что число требуемых в течение часа включений и отключений может быть установлено любым. Из всех вышеописанных способов пуска электродвигателей пуск с помощью преобразователя частоты является наиболее дорогим, поэтому его используют лишь в том случае, если в течение какого-либо определенного интервала времени необходимо плавное регулирование мощности электродвигателя.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ «INDUSTRY»

Для особенно сложных случаев фирма GRUNDFOS поставляет серию электродвигателей промышленного назначения (мощностью от 2,2 до 22 кВт) с высоким КПД. Эти электродвигатели рекомендуют в том случае, если надежность и экономичность двигателя рассматриваются как более важные факторы, чем их стоимость.

Наряду с повышенным КПД электродвигатели промышленного назначения имеют на 20–30% большую поверхность охлаждения. Следовательно, они обладают значительно меньшей чувствительностью к пониженному напряжению, асимметрии фаз и недостаточному охлаждению (вызываемому отложениями на электродвигателе), а кроме того, промышленные электродвигатели более устойчивы к коррозии.

Ниже приведено восемь основных причин для выбора электродвигателей промышленного назначения.

1. Высокий расход и напор, а также работа в непрерывном режиме продолжительное время.
2. Нестабильное электроснабжение.
3. Частотное регулирование.
4. Высокое содержание железа, марганца и извести в воде.
5. Высокое содержание хлоридов в грунтовой воде.
6. Необходимость снижения мощности электродвигателя путем изменения его параметров.
7. Электроснабжение от генератора неизвестного качества.
8. Применение в системе подогрева воды (см. рис. 25).

Наибольшей надежностью обладают электродвигатели промышленного назначения, защита которых осуществляется тепловым реле MPT 75 или устройством управления CU 3.

На срок службы погружных электродвигателей решающим образом влияет их охлаждение.

Погружные электродвигатели при максимально допустимой температуре рабочей жидкости и полной нагрузке должны охлаждаться при скорости потока охлаждающей жидкости не менее 0,15 м/с, поскольку при такой скорости возникает турбулентный поток. Этот поток обеспечивается при определенном минимальном потоке насоса (см. диаграмму на рис. 24).

Диаграмма применима к тем случаям, когда электродвигатель расположен над скважинным фильтром.

Если температура воды ниже максимально допустимой температуры рабочей жидкости при полной нагрузке насоса, то соответственно снижается и температура обмоток электродвигателя. При температуре воды ниже 20°C и вертикальном положении насоса и электродвигателя достаточное охлаждение достигается при скорости потока ниже 0,15 м/с. Для скважинных насосов диаметром до 12 дюймов для охлаждения электродвигателя достаточно свободной конвекции в случае, если:

- температура воды составляет менее 20°C;
- на наружной поверхности электродвигателя нет отложений охры, марганца, извести или бактерии железа;

- отсутствуют пониженное напряжение и асимметрия фаз;
- пуск/останов электродвигателя происходит менее 30 раз в час;
- электродвигатель не покрыт песком или илом;
- электродвигатель расположен над скважинным фильтром.

Максимальная температура перекачиваемой жидкости при полной нагрузке:

- | | |
|---|------|
| • Шести- и восьмидюймовые электродвигатели MS | 40°C |
| • Шести- и восьмидюймовые электродвигатели MMS | 30°C |
| • Четырех- и шестидюймовые электродвигатели MS «Industry» | 60°C |

Если температура охлаждающей воды превышает температуру при максимальной пиковой нагрузке, у электродвигателя должна быть снижена мощность. Это означает, что следует установить электродвигатель с заранее определенными параметрами. Кроме того, необходимо обеспечить скорость протекания охлаждающей воды, равную 0,15 м/с, например, установив охлаждающий кожух.

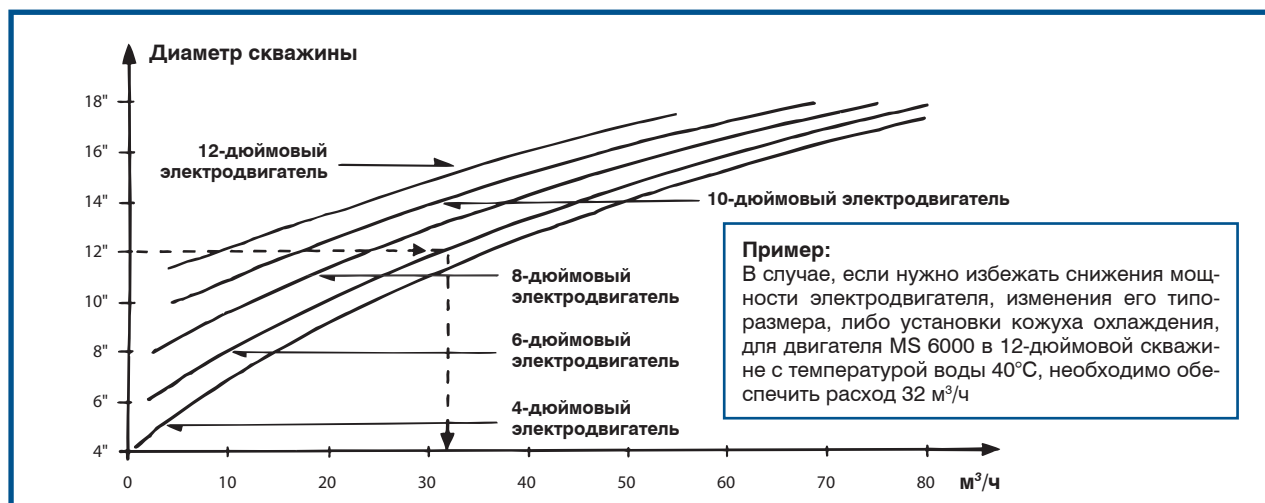


Рис. 24. Необходимый расход насоса для обеспечения охлаждения погружного электродвигателя при максимально допустимой температуре рабочей жидкости, пиковой нагрузке и скорости потока обтекания 0,15 м/с

Избыточная температура воды

Эксплуатация насосов, оснащенных электродвигателями моделей MS 4000 и MS 6000, возможна при температуре рабочей жидкости свыше 40°C. Однако при этом снижается срок их службы. Точно определить, насколько снижается этот срок, невозможно, т.к. на него влияет ряд других факторов, таких как напряжение питания, коррозионная активность воды и содержание в ней песка, условия охлаждения электродвигателя и т.д.

Если следовать рекомендациям, приведенным в этом руководстве, то можно добиться достаточно длительного срока службы электродвигателя.

В случае работы электродвигателя при температуре перекачиваемой жидкости свыше 40°C нужно согласовать с поставщиком гарантийные условия. Без снижения мощности электродвигателя либо пересмотра его параметров и оснащения пультом управления CU 3 никакая гарантия невозможна.

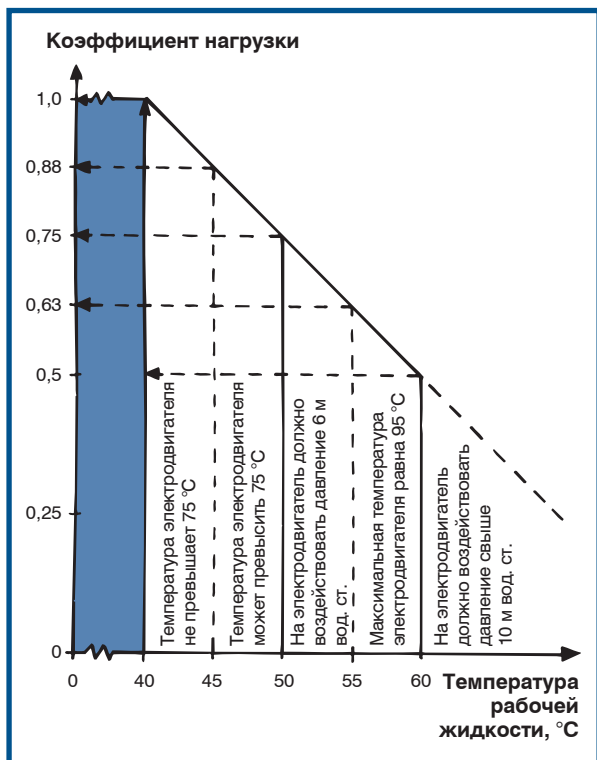


Рис. 25. Коэффициент нагрузки для погружных электродвигателей моделей MS 4000 и MS 6000 при температуре рабочей жидкости свыше 40°C

В случае эксплуатации электродвигателя при температуре жидкости свыше 20°C требуется минимальная скорость охлаждающего потока. Если же двигатель работает при температуре свыше 40°C, нагрузку нужно скорректировать в соответствии с диаграммой, приведенной на рис. 25.

Мощность P определяют с помощью коэффициента нагрузки. Требуемый двигатель выбирают на основании полученных данных. Погружной электродвигатель следует устанавливать в скважине на глубине, согласно рис. 25.

Снижение мощности / пересмотр параметров погружных электродвигателей

Мощность P_2 электродвигателя в воде с повышенной температурой можно получить, если умножить его стандартную номинальную мощность на коэффициент нагрузки.

Пример

Погружной электродвигатель модели MS 6000 со стандартной номинальной мощностью $P_2 = 30$ кВт может в теплой воде (при температуре 50°C) и со скоростью обтекания электродвигателя 0,15 м/с развить мощность $30 \cdot 0,75 = 22,5$ кВт. Этот двигатель необходимо устанавливать на глубине 6 м.

Чтобы предотвратить сильный перегрев электродвигателя вплоть до закипания в нем воды и, соответственно, прекращения циркуляции этой воды, его нужно устанавливать на заданной высоте водяного столба, поскольку это повышает точку кипения. Диаграмма зависимости температуры рабочей жидкости и высоты водяного столба, на которой следует устанавливать электродвигатели моделей MS 4000 и MS 6000, приведена на рис. 26.

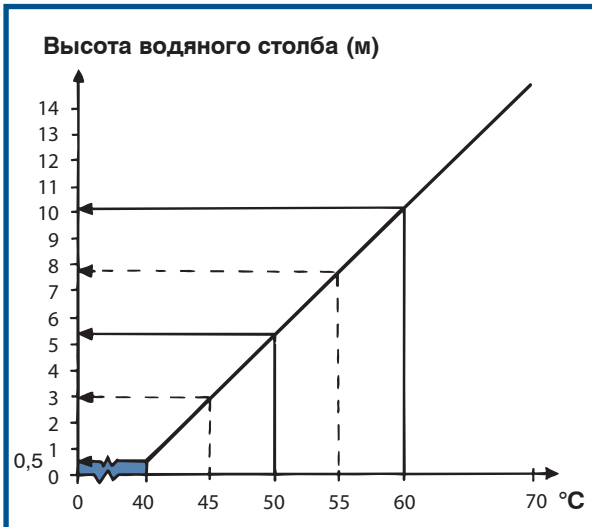


Рис. 26. Диаграмма зависимости высоты водяного столба, на которой следует устанавливать электродвигатели моделей MS 4000 и MS 6000, от температуры рабочей жидкости

Наиболее эффективная и при этом простейшая защита от перегрузки и перегрева электродвигателей моделей MS 4000 и MS 6000 обеспечивается при контроле их температуры с помощью пульта управления CU 3 комплексной защиты электродвигателя (Tempcon).

Охлаждающий кожух на всасывании

Существует три основных причины установки на всасывании охлаждающего кожуха.

1. Если скважинная вода содержит много железа (и соответственно много железобактерий), марганца и извести, то эти вещества окисляются и скапливаются в виде отложений на наружной поверхности электродвигателя, поскольку температура этой поверхности примерно на 5–15°C выше, чем в месте всасывания воды. В случае слишком медленного водяного потока наличие теплоизоляционного слоя, состоящего из окисленных минералов и металлов, может привести к появлению перегретых участков на изоляции обмотки электродвигателя. При этом возрастание температуры может быть настолько велико, что уменьшается изолирующая способность и вследствие этого

уменьшается срок службы электродвигателя. Предохранительный кожух на всасывании создает в основном вихревой поток воды вдоль электродвигателя. Независимо от вида отложений этот поток оказывает охлаждающее воздействие на электродвигатель.

2. В случае коррозионной активности воды или содержания в ней хлоридов коррозионное воздействие возрастает на 100% при повышении температуры стали и воды на 15°C. Таким образом, установка защитного кожуха на всасывании снижает опасность коррозии электродвигателя.
3. В верхней области скважины собирается окисленная вода. При каждом пуске насоса уровень воды в скважине понижается, вследствие чего в скважину поступает свежий кислород. Такое окисление верхнего слоя воды в целом безвредно, если только кислород не достигнет трубы фильтра. Если протекающая через фильтр грунтовая вода, бедная кислородом, смешивается с водой, обогащенной кислородом, то железо и известь окислятся и будут откладываться в фильтре. Это снижает КПД и, следовательно, производительность скважины.

Имеющий высокую температуру погружной электродвигатель без предохранительного кожуха на всасывании после выключения нагревает окружающую его воду. Тепловой эффект дает возможность теплой воде подняться вверх. Одновременно окисленная вода опускается вниз к фильтру.

При использовании охлаждающего кожуха на всасывании электродвигатель работает с пониженной температурой. Если он останавливается, то кожух поглощает остаточное тепло из электродвигателя, предотвращая тем самым действие теплового эффекта. Это продлевает интервалы между проведением необходимых очисток скважины от минеральной корки.

Следует подумать также и об опасности локального нагрева, особенно при горизонтальной установке насоса, а также там, где несколько агрегатов расположены вблизи друг от друга. В таких случаях следует применять охлаждающий кожух на всасывании.

Горизонтальная установка

При горизонтальной установке насоса, для обеспечения надежного охлаждения электродвигателя рекомендуется использовать охлаждающий кожух на всасывании, как показано на рис. 27. При использовании погружных электродвигателей в фонтанах нередко происходит дополнительный нагрев под действием солнечного облучения. Иногда при горизонтальной установке не удается добиться даже минимального погружения 0,5 м, которое предотвращает кавитацию (рис. 27). При этом всегда необходимо учитывать требуемый подпор (NPSH).

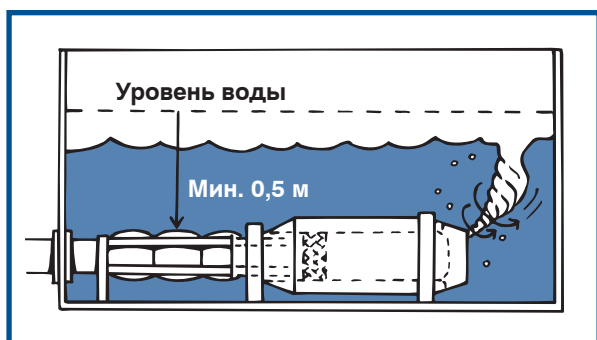


Рис. 27. Охлаждающий кожух на всасывании, установленный вокруг горизонтально расположенного электродвигателя

Там, где образование вихрей недопустимо, над всасывающим отверстием рекомендуется устанавливать направляющую пластину таким образом, чтобы вода обтекала насос с разных сторон (рис. 28).

В том случае, если насос устанавливают в плоской скважине (т.е. под скважинным фильтром) или в баке, рекомендуется использовать охлаждающий кожух на всасывании (рис. 29).



Рис. 28. Использование антивихревой направляющей пластины для горизонтально установленного погружного электродвигателя

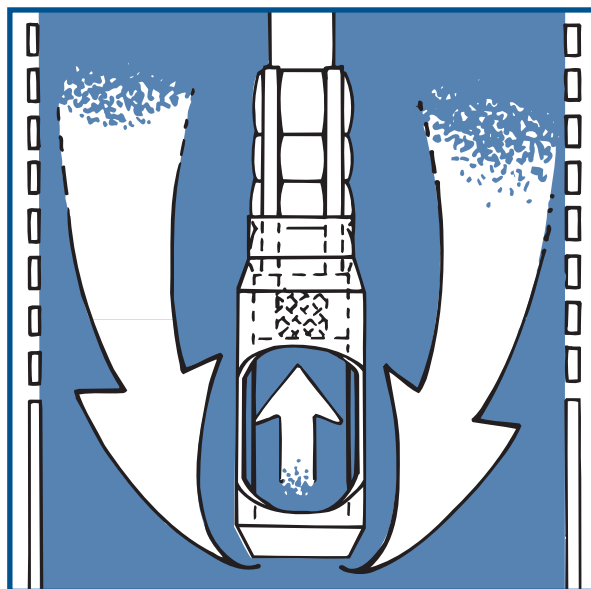


Рис. 29. Использование охлаждающего кожуха на всасывании при установке погружного насоса в баке

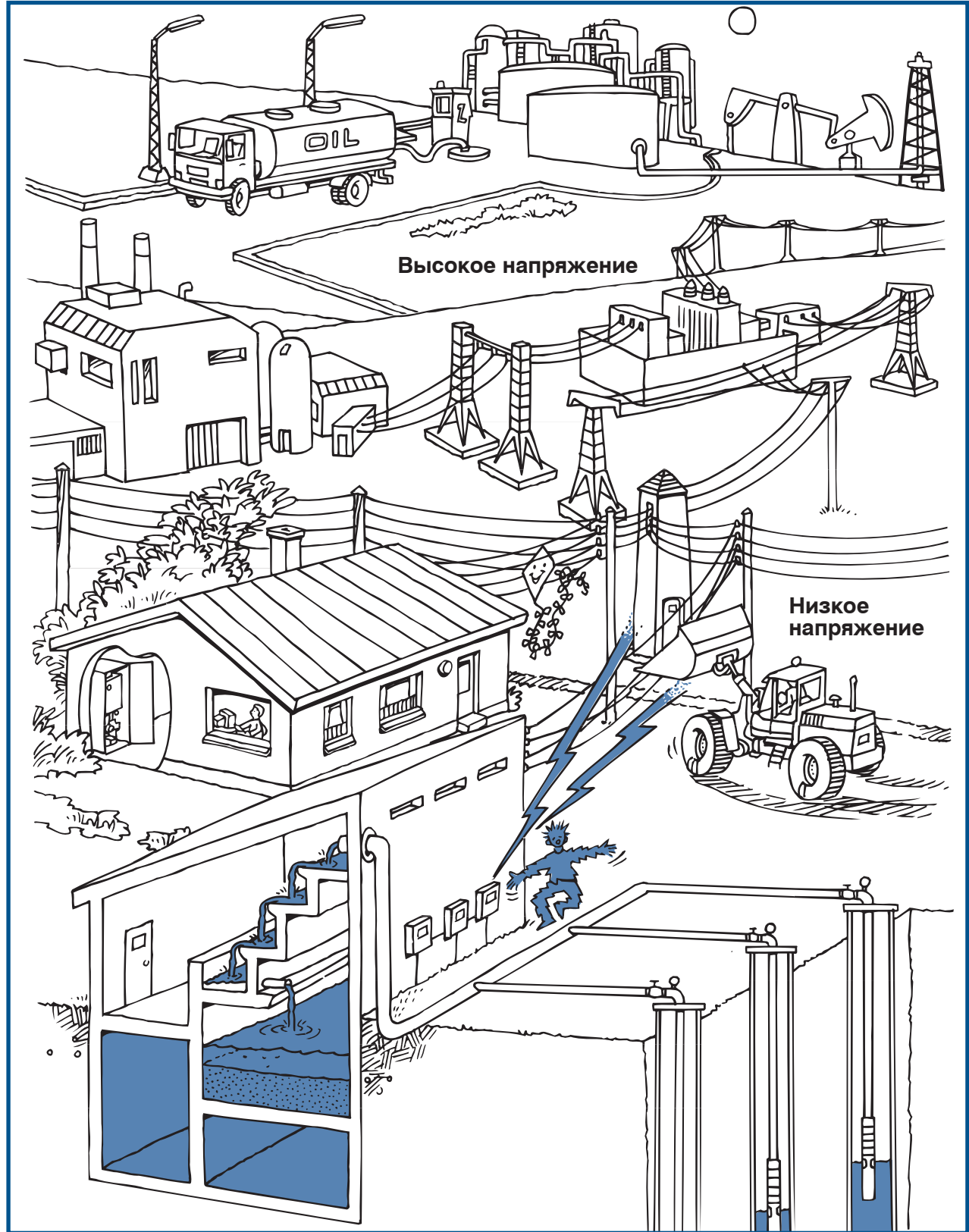


Рис. 30. Схема энергоснабжения

Низкое и высокое напряжение

Хотя обычно сети электроснабжения поставляют точно установленное напряжение, вблизи трансформаторов низкого напряжения оно будет выше на 3–5%. При пиковой нагрузке на магистральные провода из-за омического сопротивления будет иметь место падение напряжения.

Большинство сетей электроснабжения (рис. 30) спроектированы таким образом, что в наиболее слабой точке по крайней мере раз в год возникает падение напряжения более чем на 10%. Тем не менее, у многих потребителей снова и снова возникают значительные проблемы со скачками напряжения. Для любого электродвигателя вредно, если на него поступает напряжение, параметры которого выходят за пределы расчетных значений. При скачках напряжения крутящий момент и частота вращения вала электродвигателя значительно снижаются. В результате происходит падение КПД и индуктивного сопротивления электродвигателя. Это увеличивает потребляемую мощность, а, следовательно, теплообразование в электродвигателе.

Если на электродвигатель при полной нагрузке поступает напряжение на 10% ниже номинального, то потребляемый ток увеличивается примерно на 5%, а температура электродвигателя — на 20% (рис. 31). Если такое превышение превосходит максимально допустимую температуру изоляции обмоток, то это может привести к короткому замыканию и разрушению статора. Однако это произойдет лишь в том случае, если электродвигатель работает при высокой температуре окружающей среды и имеет плохое охлаждение, либо при одновременном возникновении сдвига фаз и скачков напряжения.

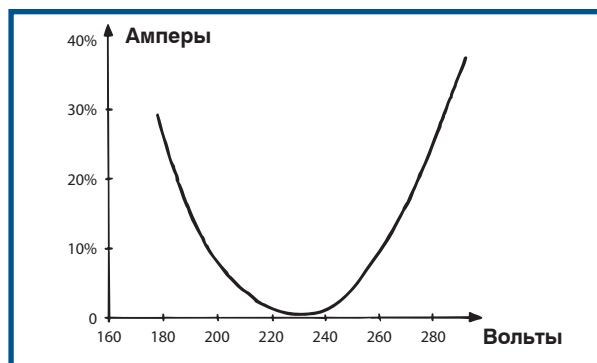


Рис. 31. Дополнительное потребление тока при колебаниях напряжения

Возникающее в результате пониженного напряжения длительное повышение температуры обмоток двигателя приводит к быстрому старению изоляции и, следовательно, к уменьшению срока службы.

При перенапряжении сети потребляемая мощность и теплообразование в обмотках электродвигателя также возрастают.

Выводы

1. При измеренных на клеммах электродвигателя колебаниях напряжения в пределах $+6 / -10\%$ от указанного в фирменной табличке номинального значения, можно ожидать расчетного срока службы электродвигателя. Условия: потребляемый ток не превышает указанную на фирменной табличке величину тока при полной нагрузке, электродвигатель в достаточной мере охлаждается и не возникает никаких скачков напряжения или асимметрии.
2. При кратковременных / периодических перепадах напряжения свыше допустимых пределов ($+6 / -10\%$ от указанного на фирменной табличке номинального значения) не следует ожидать значительного сокращения срока службы электродвигателя, если только перепады напряжения будут настолько значительны, что это приведет к возникновению короткого замыкания в обмотках статора.
3. При постоянных или длительных колебаниях напряжения свыше $+6 / -10\%$ мощность электродвигателя следует снизить или выбрать электродвигатель промышленного назначения GRUNDFOS, позволяющий добиться приемлемого срока службы и КПД. Кроме того, необходимо обеспечить контроль электродвигателя с помощью пульта CU 3.

Для повышения срока службы стандартного электродвигателя его мощность обычно снижают, если на сетевом кабеле можно ожидать перепадов напряжения, выходящих за пределы $+6 / -10\%$.

Если на однофазные электродвигатели подается низкое напряжение, то для них нередко требуются конденсаторы.

Асимметрия напряжения

По электрическим сетям номинальное напряжение должно подаваться на все три фазы. Как правило, вблизи низковольтных трансформаторов так и происходит. При полной нагрузке сети для предотвращения напряжения на отдельных фазах все однофазные агрегаты должны быть распределены по трем фазам. Поскольку однофазные агрегаты часто работают в режиме включения/выключения, они могут стать причиной асимметрии фаз. Асимметрия может быть вызвана также асимметрией тока в линиях электропередач, а также изношенными либо окисленными контакторами. На случай возможной асимметрии в цепи нужно до включения электродвигателя в сеть проконсультироваться с представителями энергообеспечивающего предприятия.

Асимметрия тока

При минимальной асимметрии тока достигается максимальный КПД электродвигателя и наиболее длительный срок его службы. Вот почему важна равномерная нагрузка всех фаз.

Перед выполнением измерений необходимо проверить направление вращения насоса (при правильном направлении вращения насоса достигается максимальная производительность). Направление вращения можно изменить, переключив две фазы.

Асимметрия тока не должна превышать 5%, а при использовании пульта CU 3 — 10%. Ее рассчитывают по следующим двум формулам:

$$I(\%) = \left(\frac{I_{\text{фазы макс.}} - I_{\text{средн.}}}{I_{\text{средн.}}} \right) \times 100 [\%]$$

$$I(\%) = \left(\frac{I_{\text{средн.}} - I_{\text{фазы макс.}}}{I_{\text{средн.}}} \right) \times 100 [\%]$$

Максимальное значение служит в качестве выражения асимметрии тока. Ток следует измерять на всех трех фазах (рис. 32). Наилучшим способом подключения является тот, при котором получают минимальную асимметрию.

Для сохранения неизменного направления вращения вала при изменении способа подключения фазы нужно менять так, как показано на рис. 32. Пульт CU 3 не только предназначен для защиты от высокой асимметрии тока, но и обеспечивает (при использовании пульта дистанционного управления R 100) индикацию текущих значений. Это облегчает выбор оптимального способа подключения.

8

Пример

Рассмотрим пример, приведенный на рис. 32 и в таблице ниже.

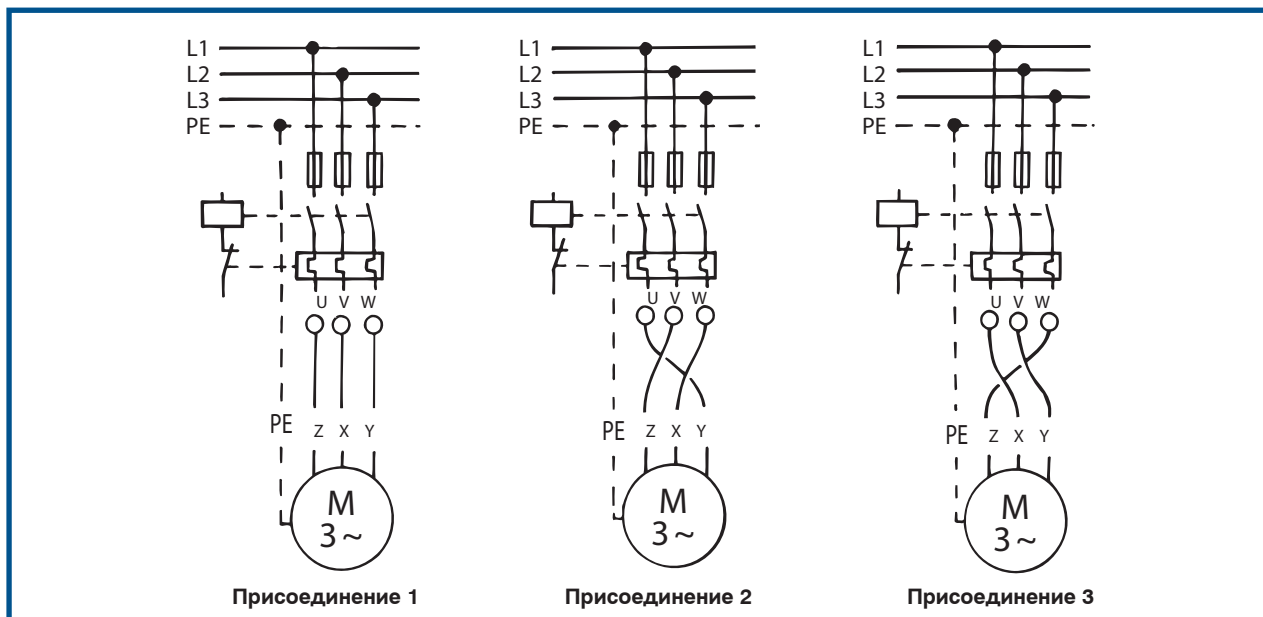


Рис. 32. Коррекция асимметрии тока у трехфазного погружного электродвигателя 3 · 400 В, 50 Гц, 30 А

		Подключение 1	Подключение 2	Подключение 3
Этап 1	U	Z 31 А	Z 30 А	Z 29 А
	V	X 26 А	X 26 А	X 27 А
	W	Y 28 А	Y 29 А	Y 29 А
		Всего 85 А	Всего 85 А	Всего 85 А
Этап 2	Средняя величина тока: $\frac{\text{Суммарный ток}}{3 \cdot 3} = \frac{85 + 85 + 85}{3 \cdot 3} = 28,3 \text{ А}$			
Этап 3	Максимальное отклонение тока от средней величины: Подключение 1 = 31 – 28,3 = 2,7 А Подключение 2 = 28,3 – 26 = 2,2 А Подключение 3 = 28,3 – 27 = 1,3 А			
Этап 4	Асимметрия, %: Подключение 1 = $\frac{2,7}{28,3} \cdot 100\% = 9,5\%$ — неприемлемо (свыше 5%) Подключение 2 = $\frac{2,3}{28,3} \cdot 100\% = 8,1\%$ — неприемлемо (свыше 5%) Подключение 3 = $\frac{1,3}{28,3} \cdot 100\% = 4,6\%$ — (нормально)			
Этап 5	Если асимметрия тока превышает 5%, нужно проконсультироваться с представителями энергоснабжающего предприятия. В качестве варианта можно использовать электродвигатель промышленного назначения пониженной мощности или оснащенный устройством СU 3.			
	Соответствующую асимметрию тока можно проконтролировать с помощью пульта R 100. Асимметрия тока 5% соответствует асимметрии напряжения 1–2%			

Небольшая асимметрия напряжения приводит к большой асимметрии тока, что в свою очередь вызывает неравномерный нагрев обмоток статора и приводит к возникновению горячих зон и точечного нагрева. Эта связь графически показана на рис. 33.

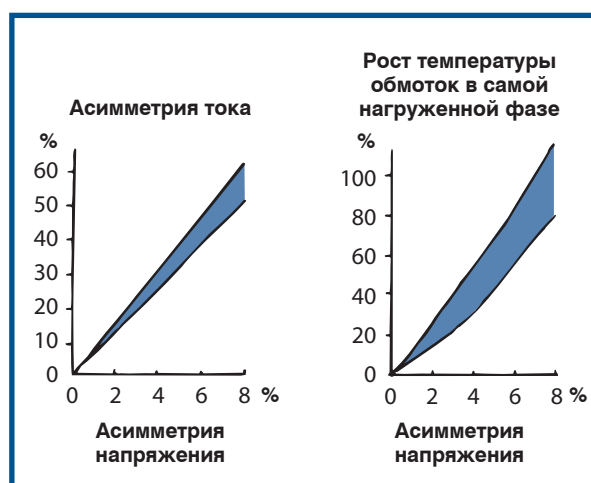


Рис. 33. Зависимость между асимметрией тока, напряжения и температурой

Частота

Частота всегда должна соответствовать указанному на фирменной табличке номинальному значению. Если частота выше этого значения, может возникнуть перегрузка электродвигателя, а если ниже, то производительность насоса падает.

Следствием изменения частоты является асимметрия тока. Поэтому устройство CU 3 не реагирует на нестабильную частоту, а реагирует на асимметрию тока. Вместе с R 100 устройство CU 3 может показывать текущую частоту сети.

Гармоники напряжения

В нормальном случае сеть питания обеспечивает потребителей синусоидальным напряжением по всем трем фазам. К полученному на электростанции синусоидальному напряжению в распределительной системе добавляются дополнительные гармоники.

Источники гармоник напряжения

1. Преобразователь частоты без фильтра.
2. Приборы, обеспечивающие плавный пуск электродвигателя.
3. Контактторы для крупных машин.
4. Конденсаторы в промышленных установках.
5. Удар молнии.

К пункту 1. Преобразователь частоты без фильтра

Современные преобразователи частоты, оснащенные индуктивно-емкостными (LC) или резистивно-емкостными (RC) фильтрами, можно настолько надежно защитить предохранителями, что при соединении преобразователя частоты с электродвигателем кабелем длиной до 100 м не возникнет никаких пиков напряжения свыше 850 В.

В этих условиях любой электродвигатель GRUNDFOS имеет приемлемый срок службы.

На выходе преобразователей частоты типа PWM (широтно-импульсная модуляция), не оснащенных LC или RC-фильтрами, получается выходное напряжение, значительно отличающееся от идеальной

синусоиды. Пики напряжения в зависимости от исполнения преобразователей достигают 850–1200 В (при длине соединительного кабеля 100 м).

С удлинением кабеля, соединяющего преобразователь частоты с электродвигателем, эти пики увеличиваются. При длине кабеля 200 м они достигают 1700–2400 В, т.е. удваиваются. Результатом такого увеличения становится снижение срока службы электродвигателя. По этой причине преобразователь частоты следует снабжать по меньшей мере RC-фильтром, что позволит обеспечить оптимальный срок службы электродвигателя.

К пункту 2. Приборы, обеспечивающие плавный пуск электродвигателя

От подключенного к электродвигателю прибора, обеспечивающего его плавный пуск, поступает не синусоидальный ток, создающий в сети помехи. Поскольку время ускорения/замедления электродвигателя очень коротко, на практике эти помехи незаметны. Если же фаза пуска длится более 3 с, то температура обмоток электродвигателя возрастает и, следовательно, снижается его срок службы.

К пункту 3. Контактторы для крупных машин

Пуск крупных машин осуществляется методом прямого подключения DOL или способом «звезда-треугольник». При этом может произойти искровой разряд. В случае, если контакторы разомкнуты, это создает значительные пики напряжения, которые опасны для погружных электродвигателей только в очень слабой сети.

К пункту 4. Конденсаторы в промышленных установках

В промышленных установках устанавливаются сложные приборы регулирования с многочисленными конденсаторами большой емкости, возвращающими пики напряжения в сеть. Опасность для погружных электродвигателей эти пики представляют лишь в случае слишком слабой сети.

К пункту 5. Удар молнии

Удар молнии, попавший в скважинную установку, шкаф управления или в систему электроснабжения, разрушает все электрические установки. Скачок

напряжения при ударе молнии достигают 20–100 кВ. Полученного при этом тепла достаточно для того, чтобы расплавить изоляцию.

Удар молнии в высоковольтную сеть создает скачки напряжения, которые частично поглощаются через молниеотвод на трансформаторной подстанции и отводятся на шину заземления.

Если удар молнии попал в низковольтную сеть, то опасность возникновения скачков напряжения от 10 до 20 кВ существует только для распределительного шкафа насоса.

Если шкаф управления и сам электродвигатель не защищены, соответственно, громоотводом и заземлением, то установка может быть повреждена. Причина возможного повреждения состоит в том, что они находятся в обладающих определенной электропроводностью грунтовых водах и, следовательно заземлены. Способы заземления скважины показаны на рис. 34.

В результате удара молнии электродвигателям могут быть нанесены повреждения как через силовой кабель, так и через заземляющий.

В тех областях, где часты удары молнии, наилучший способ защиты выключателей электродвигателей и погружных электродвигателей состоит в том, чтобы на приводной стороне главного выключателя установить молниеотвод и соединить его со стержневым заземлителем или по возможности с водоподъемной трубой скважины в том случае, если эта труба изготовлена из стали.

Причиной указанных скачков может быть не только плохая работа молниеотводов на трансформаторной подстанции.

Если система подверглась ударам молнии, все детали распределительного шкафа следует тщательно проверить. Заземляющие контакты могут перегореть в одной фазе, что может привести к повышению напряжения и асимметрии тока распределительного шкафа. Заземляющие контакты или тепловое реле могут перегореть в различных фазах, в результате чего может возникнуть как падение напряжения, так и асимметрия. Если перегорело тепловое реле, оно не сможет расцепиться и тем самым обеспечить защиту обмоток электродвигателя.

Только в редких случаях при ударах молнии разрушаются электродвигатели.

Погружные электродвигатели GRUNDFOS MS 402 имеют класс защиты изоляции до 15 кВ. Это — максимальное значение напряжения, которое может пройти через электродвигатель, например, при ударах молнии вблизи него. Поэтому нет необходимости в дополнительной молниезащите, хотя здесь не учитываются прямые удары молнии.

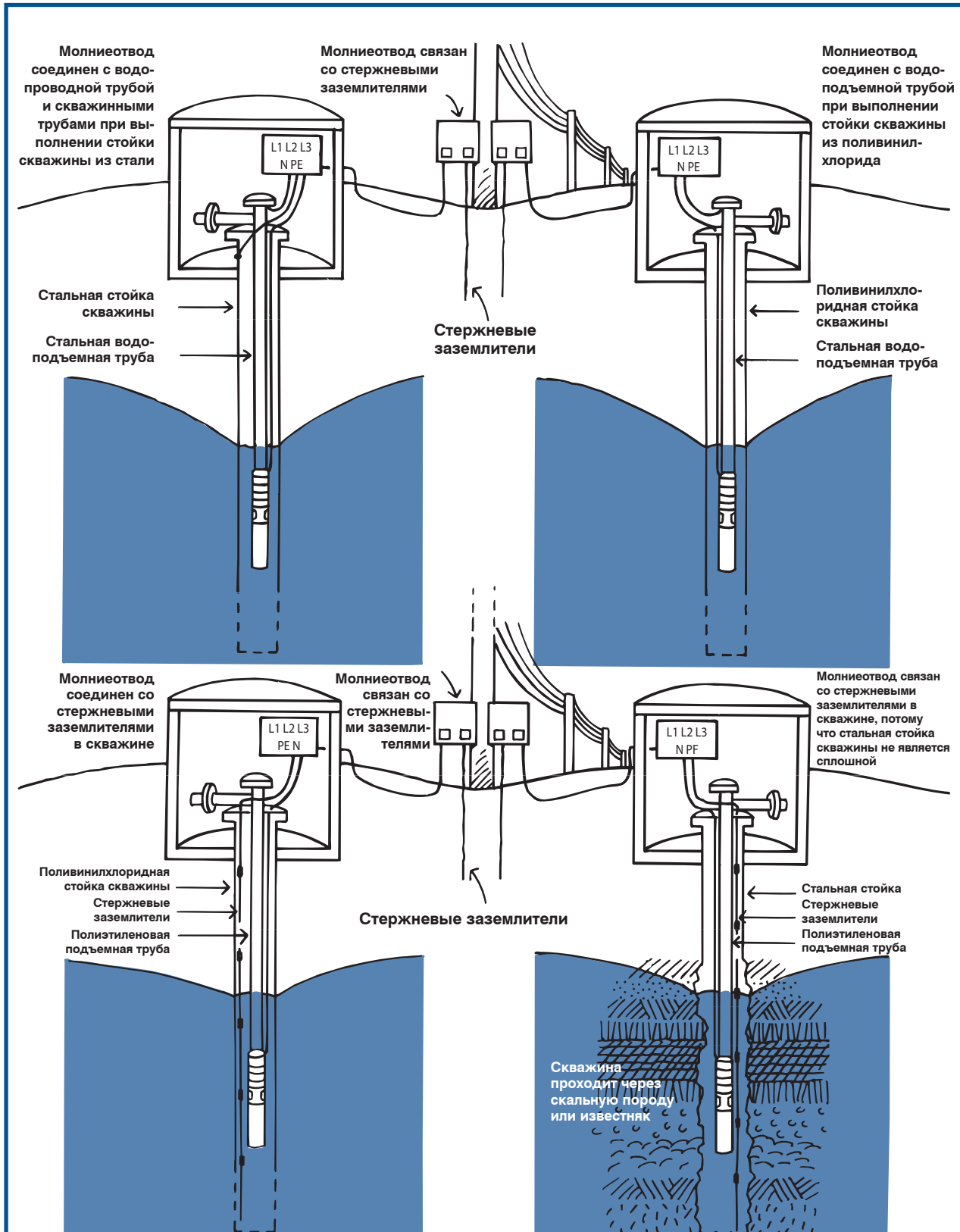


Рис. 34. Способы заземления скважины

Выбор кабеля

Качеству специального погружного кабеля и кабельного соединения нередко уделяют недостаточно внимания, хотя оно имеет исключительно важное значение для длительного срока службы погружных насосов.

Для погружных насосов GRUNDFOS рекомендует применять исключительно кабель типоразмеров TML-A, TML-B или аналогичного качества. Для питьевой воды допускается использование кабеля типоразмера TML-A, TML-B.

Широко распространено применение кабелей типоразмера HO7RN-F. Это на короткое время является наиболее благоприятным решением для неглубоких скважин (2–5 м водяного столба) с небольшим давлением на кабель. Однако использование кабеля такого типоразмера для более глубоких скважин, где давление воды на него превышает 10 м водяного столба, неэффективно, и поэтому кабель приходится заменять.

В нижеприведенной таблице дан подробный обзор важнейших характеристик кабелей трех наиболее часто применяемых типоразмеров.

Характеристика кабеля	Тип кабеля	
	TML-B	HO7RN
Материал оболочки	EPR-EPDM	Неопрен/гипалин
Изоляция жилы	EPR-EPDM	Резина
Максимальная температура окружающей среды	70°C	60°C
Максимально допустимая температура жилы	90°C	60°C
Максимальная температура короткого замыкания	250°C	220°C
Номинальное напряжение	720/1000 В	450/750 В
Напряжение при испытаниях	2500 В	2500 В
Максимально допустимая температура поверхности	-40°C — +80°C	-40°C — +60°C
Цвет	Синий	Черный
Водопоглощение	0,02%	1%
Допустимая токовая нагрузка	DIN 298 часть 4	DIN 298 часть 4
Сопротивление изоляции	10 ¹² — 10 ¹⁵ Ом/см	1 МОм/км
Расцветка	VDE 293	VDE 293
Коэффициент коррекции температуры	См. таблицу	См. таблицу
Стандарты, по которым изготавливается кабель	IEC 245	IEC 245
	VDE 282	VDE 282
	VDE 250	
Стандарт на кабель	IEC 228	IEC 228
Допущения согласно нормам	Питьевая вода	Техническая вода
Сопротивление жилы согласно нормам	DIN 57295	DIN 57295
	VDE 295	VDE 295
Нормы фирмы GRUNDFOS	GS181H0020-21-22-23	GS181H0024
Специальный погружной кабель	Поставляется	Поставляется

КАБЕЛЬ И КАБЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Кабели погружных электродвигателей в большинстве своем не рассчитаны на пусковой ток, потому что пуск электродвигателя производится менее чем за 0,1 с, и 35% падение напряжения допускается на стадии пуска.

В случае повышенного напряжения питания правильный расчет параметров кабеля обеспечивает приведенное на фирменной табличке электродвигателя напряжение подключения.

Что же касается пониженного напряжения, то параметры кабеля при полном потреблении мощности должны быть рассчитаны на максимальное 3%-ное падение напряжения у электродвигателя.

В соответствии с рекомендациями, существующими в некоторых странах, например в странах Центральной Европы, максимально допустимое падение напряжения между распределительным шкафом и электродвигателем составляет 3%.

Выбор параметров водонепроницаемого кабеля

При расчете поперечного сечения (q) кабеля должны выполняться следующие требования:

1. Водонепроницаемый кабель должен выбираться в расчете на максимальный ток (I) электродвигателя.
2. Поперечное сечение должно выбираться настолько большим, чтобы падение напряжения во всем кабеле было в допустимых пределах.

Сечения, полученные при расчетах по пунктам 1 и 2, необходимо сравнить между собой, выбрать большее из них, после чего подобрать ближайшее большее стандартное сечение.

Примечания к пункту 1:

В приведенной таблице 1 показана нагрузочная способность по максимальному току водонепроницаемого кабеля Grundfos (т.е. значение максимального тока, на который рассчитан кабель) при температуре окружающей среды не более 40 °С.

Если температура окружающей среды превышает 40 °С, просим Вас связаться с фирмой Grundfos.

Водонепроницаемый кабель должен выбираться таким образом, чтобы максимальный ток электродвигателя не превышал нагрузочной способности этого кабеля по максимальному току (I_s).

При пуске по схеме «звезда-треугольник» кабель следует выбирать так, чтобы значение тока, равное 0,58 от номинального, не превышало нагрузочной способности по максимальному току (I_s).

Таблица 1

Значения допустимой токовой нагрузки по нормам DIN VDE 0298, часть 4

Соответствие органов защиты от токов перегрузки по приложению 1 к DIN VDE 0100, часть 430/11.91: тип переноса E (свободно в воздухе).

q [м ²]	I_s [А]	q [м ²]	I_s [А]
1.5	18.5	50	153
2.5	25	70	196
4	34	95	238
6	43	120	276
10	60	150	319
16	80	185	364
25	101	240	430
35	126	300	497

Если в насосе используется водонепроницаемый кабель других фирм, то его сечение выбирают на основании нагрузочной способности по максимальному току (I_s)

Примечание к пункту 2:

Указание: Необходимо выполнять требования к диапазону напряжения электродвигателей. Требуемое сечение кабеля (q , м²) для фактически необходимой его длины рассчитывается по формулам, приведенным ниже:

Для трехфазных электродвигателей, прямое подключение

$$q = \frac{I \cdot 1,73 \cdot 100 \cdot L \cdot r \cdot \cos j}{U \cdot DU - (I \cdot 1,73 \cdot 100 \cdot L \cdot X_L \cdot \sin j)} \quad (\text{кВт})$$

Для трехфазных электродвигателей, подключение по схеме «звезда-треугольник»

$$q = \frac{I \cdot L \cdot 100 \cdot r \cdot \cos j}{U \cdot DU - (I \cdot 1,73 \cdot 100 \cdot L \cdot X_L \cdot \sin j)} \quad (\text{кВт})$$

Для однофазных электродвигателей

$$q = \frac{I \cdot 2 \cdot 100 \cdot L \cdot r \cdot \cos j}{U \cdot DU - (I \cdot 2 \cdot 100 \cdot L \cdot X_L \cdot \sin j)} \quad (\text{кВт})$$

Значения номинального тока (I) и коэффициента мощности (Cos j) можно взять из справочника.

Расшифровка сокращенных обозначений, применяемых в формулах:

- U = номинальное напряжение [В]
- DU = падение напряжения [%]
- I = номинальный ток электродвигателя [А]
- L = длина кабеля [м]
- q = поперечное сечение [мм²]
- X_L = индуктивное сопротивление
0,078 · 10⁻³ [Ом/м]
- Cos j = коэффициент мощности
- Sin j = $\sqrt{1 - \cos^2 j}$
- L = длина кабеля [м]
- r = 1 / C (удельное сопротивление, Ом · мм²/м)
- Электропроводность (C) материала жил кабеля:
медь C = 52 м/мм²
алюминий C = 34 м/мм²

Значения длины кабеля для источника питания 1 · 230 В, 50 Гц

Двигатель	кВт	I _n , А	1,5 мм ²	2,5 мм ²	4 мм ²	6 мм ²	10 мм ²
4"	0.37	4.0	111	185	295	440	723
	0.55	5.8	80	133	211	315	518
	0.75	7.5	58	96	153	229	377
	1.1	7.3	48	79	127	190	316
	1.5	10.2	34	57	92	137	228
	2.2	14		43	68	102	169

Максимальная длина в метрах кабеля от выключателя электродвигателя до скважинного насоса.

Пример:

- Мощность и типоразмер электродвигателя: 45 кВт, MMS 8000
- Номинальный ток: I = 96,5 А
- Напряжение: 3 · 400 В, 50 Гц
- Падение напряжения: DU = 3%
- Схема включения: прямое включение
- Необходимая длина кабеля: L = 200 м
- Коэффициент мощности: Cos j = 0.82
- Температура воды: 30°C
- Кабель с медными жилами: r = 1/52 = 0.02 Ом · мм²/м

1. Из таблицы 1 получаем значение 25 мм² (минимально допустимое сечение для заданной величины тока).

2. По формуле для прямого подключения рассчитывается требуемое сечение кабеля:

$$U = 400$$

$$\sin j = \sqrt{1 - 0,82^2} = 0,57$$

$$q = \frac{96,5 \cdot 1,73 \cdot 100 \cdot 200 \cdot 0,02 \cdot 0,82}{400 \cdot 3 - (96,5 \cdot 1,73 \cdot 100 \cdot 200 \cdot (0,078 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,57)}$$

$$q = 52 \text{ м}^2$$

3. Выбираем ближайшее большее стандартное значение поперечного сечения кабеля из таблицы 2.

Таблица 2

Сечение провода мм ²															
1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300

В результате получаем значение поперечного сечения кабеля: **70 мм²**.

Для расчета максимальной длины медного кабеля погружного насоса также можно пользоваться следующими формулами:

Для трехфазных электродвигателей, прямое подключение

$$L = \frac{U \cdot DU}{I \cdot 1,73 \cdot 100 \cdot (\cos j \cdot r/q + \sin j \cdot X_L)} \quad (\text{м})$$

Для трехфазных электродвигателей, подключение по схеме «звезда-треугольник»

$$L = \frac{U \cdot DU}{I \cdot 100 \cdot (\cos j \cdot r/q + \sin j \cdot X_L)} \quad (\text{м})$$

Для однофазных электродвигателей

$$L = \frac{U \cdot DU}{I \cdot 2 \cdot 100 \cdot (\cos j \cdot r/q + \sin j \cdot X_L)} \quad (\text{м})$$

Расчет потерь мощности:

Вариант А:

$$p_A = \frac{3 \cdot L \cdot I^2 \cdot \cos j \cdot r}{q} =$$
$$= \frac{3 \cdot 200 \cdot 0,02 \cdot 96,5^2 \cdot 0,82}{150} = 611 \text{ Вт}$$

Вариант В:

$$p_B = \frac{3 \cdot 200 \cdot 0,02 \cdot 96,5^2 \cdot 0,82}{185} = 495 \text{ Вт}$$

Экономия

Ежегодная продолжительность эксплуатации: 4000 часов.

Ежегодная экономия (А):

$$A = p_A - p_B \cdot h = 611 \text{ Вт} - 495 \text{ Вт} \cdot 4000 \text{ ч} =$$
$$= 464000 \text{ Втч} = 464 \text{ кВтч}$$

Благодаря выбору трехжильного кабеля по варианту В с поперечным сечением 185 мм² вместо кабеля 3 · 150 мм² в течение года удастся сэкономить до 464 кВтч электроэнергии.

Продолжительность эксплуатации: 10 лет.

Суммарная экономия электроэнергии через 10 лет (A₁₀):

$$A_{10} = A \cdot 10 = 464 \cdot 10 = 4640 \text{ кВтч.}$$

Экономия электроэнергии в денежном выражении рассчитывается для конкретных условий эксплуатации.

Соединение кабеля электродвигателя с основным погружным кабелем

Весьма часто некачественные или не соответствующие нормам кабели становятся причиной перегорания электродвигателей. Отсюда следует вывод о необходимости выбора кабелей, рекомендуемых GRUNDFOS (или равноценных), и соблюдения рекомендаций изготовителя.

Любое кабельное соединение должно быть водонепроницаемым и иметь сопротивление изоляции не менее 100 МОм (измеренное спустя 24 ч в погруженном состоянии). Для того чтобы добиться такого значения, все детали кабеля должны быть абсолютно чистыми.

Существует четыре варианта выполнения кабельных соединений:

1. Термоусадочная муфта

Для выполнения этого вида соединения требуется значительный опыт. Кроме того, очень велики расходы на нагрев кабелей больших сечений. Для нагрева недостаточно использования зажигалки или любительских нагревательных приборов. Преимущество данного метода состоит в том, что такое соединение не требует времени на сушку и сразу же, как показано на рис. 35, готово к использованию.

2. Заливка (герметизация)

Здесь речь идет о наиболее старом известном способе получения кабельного соединения. Его преимуществом является простота, а недостатком — необходимость сушки в течение не менее 24 часов. По стоимости этот вариант получения кабельного соединения, показанный на рис. 36, эквивалентен предыдущему.

3. Разъемное контактное соединение

Категорически запрещено применять комплекты кабельных соединений, изготовленных свыше трех лет назад. В случае хранения при температуре свыше 15°C этот срок сокращается даже до года. При проведении технического обслуживания кабельные соединения обычно подвергаются тщательному осмотру и проверке.

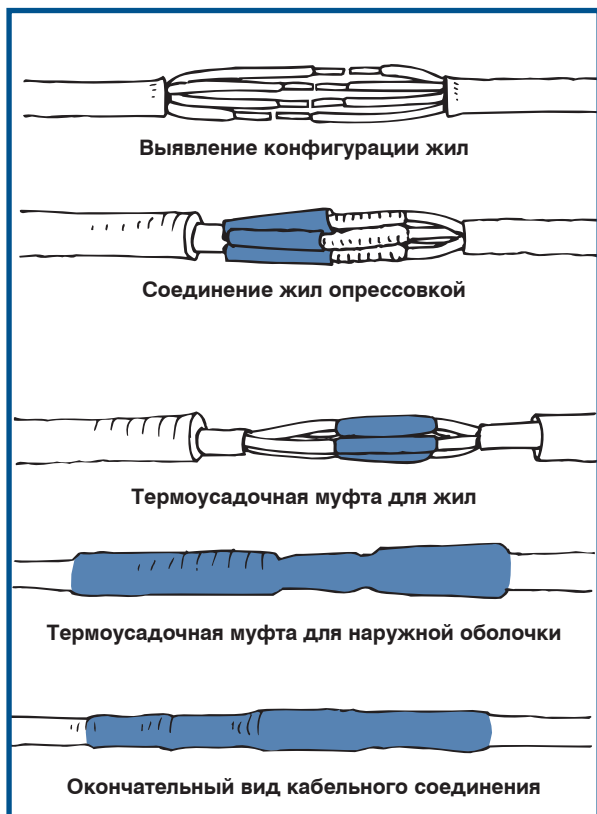


Рис. 35. Термоусаживаемая трубка

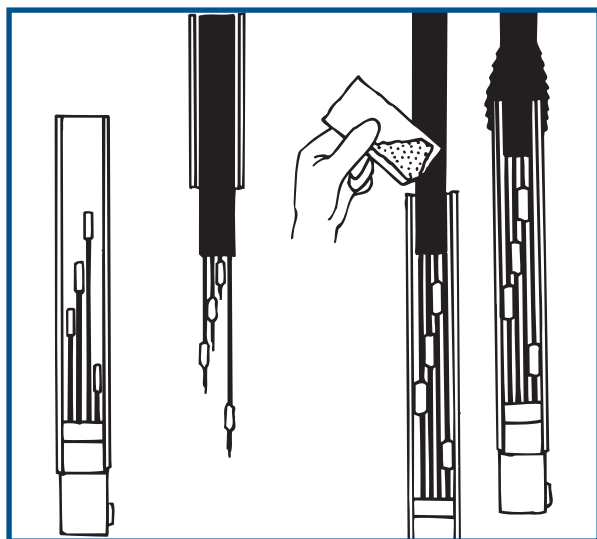


Рис. 36. Получение кабельного соединения заливкой

Кабельный ввод электродвигателя

Кабельный ввод электродвигателя необходимо всегда затягивать в соответствии с заданным в технической документации крутящим моментом.

В тех случаях, когда необходима смазка кабельного ввода, следует применять непроводящий материал (например, силиконовую пасту).

Кабельные вводы, срок службы которых превышает три года, не подлежат повторному использованию, поскольку они могут быть негерметичными.

Применение преобразователей частоты для погружных электродвигателей возможно при соблюдении следующих условий:

1. Преобразователь частоты должен быть оснащен LC- или RC-фильтром (для защиты от пиковых напряжений свыше 850 В).
2. Скорость потока охлаждающей жидкости, обтекающего электродвигатель, должна быть не менее 0,5 м/с. Если в скважине не создается достаточно быстрого потока для обтекания электродвигателя, этот электродвигатель следует оснастить охлаждающим кожухом.
3. При регулировании погружных электродвигателей в открытых системах с повышенным статическим напором потребляемая мощность изменяется незначительно. Это означает, что снижение мощности насоса приводит к повышению тепловыделения в электродвигателе и, как следствие, к снижению срока службы электродвигателя. Поэтому при эксплуатации с преобразователем частоты GRUNDFOS рекомендует в основном применять электродвигатель с определенным запасом по мощности, например, промышленного назначения или более мощный (переразмеренный) стандартный электродвигатель.
4. Значение минимальной частоты вращения электродвигателя должно быть не менее 30 Гц, что позволяет обеспечить смазывание осевой опоры.
5. Тепловая защита электродвигателя с помощью блока комплексной защиты CU 3 и прибора тепловой защиты MTP 75 невозможна.
6. Тепловая защита для погружных электродвигателей GRUNDFOS при их эксплуатации с преобразователями частоты возможна для электродвигателей, оснащенных встроенным температурным датчиком P; 100, и может быть индицирована с помощью реле EPM 35.
7. Экспериментально доказано, что снижение номинального расхода насоса менее чем на 10% недопустимо, независимо от частоты, и должно предотвращаться с помощью следующих трех способов:
 - на основании действительной рабочей характеристики насоса и характеристики системы, прежде всего, следует определить минимально допустимую частоту. Значение этой частоты устанавливают на преобразователе частоты. На практике полученные при расчетах значения проверяют с помощью расходомера;

мую частоту. Значение этой частоты устанавливают на преобразователе частоты. На практике полученные при расчетах значения проверяют с помощью расходомера;

- на расходомере, соединенном с преобразователем частоты, устанавливают минимальное значение расхода и при этом значении отключают электродвигатель. Полученное значение можно связать зависимостью с минимальным давлением, установленным на реле давления;
- простейшим способом является установка реле протока на напорной стороне каждого насоса. Реле отключает силовой контактор, как только величина потока станет меньше номинального значения на 10%.

При соблюдении вышеуказанных условий можно ожидать приемлемого срока службы электродвигателя.

Поскольку использование преобразователей частоты ведет к потерям мощности и к появлению пиковых напряжений, то эти преобразователи:

- создают большой перегрев электродвигателя, нежели при эксплуатации его непосредственно от сети;
- снижают КПД электродвигателя;
- увеличивают потребляемую мощность электродвигателя.

Исходя из названных причин следует применять электродвигатели промышленного назначения, поскольку они компенсируют эти недостатки. Что же касается экономической эффективности подобной эксплуатации, то нужно заметить следующее:

Частотное регулирование обычно не повышает экономическую эффективность скважинных насосов, но снижает необходимость в крупных резервуарах и соответствующей площади под них. Кроме того, частотное регулирование уменьшает гидравлические удары в системе трубопроводов, а также постоянные колебания уровня воды в скважине при включении и отключении насоса.

Для систем с высокими потерями на трение в трубопроводах по отношению к общему напору, применение преобразователей частоты не дает каких-либо преимуществ. В таких случаях просто рекомендуют снизить сопротивление в трубопроводах. С учетом

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

экономии электроэнергии (кВт·ч/м³) этот метод является наиболее экономичным.

На приведенных ниже диаграммах показаны общий КПД (η) при различных значениях расхода как для отдельного насоса (рис. 37), так и для насосов, работающих параллельно (рис. 38).

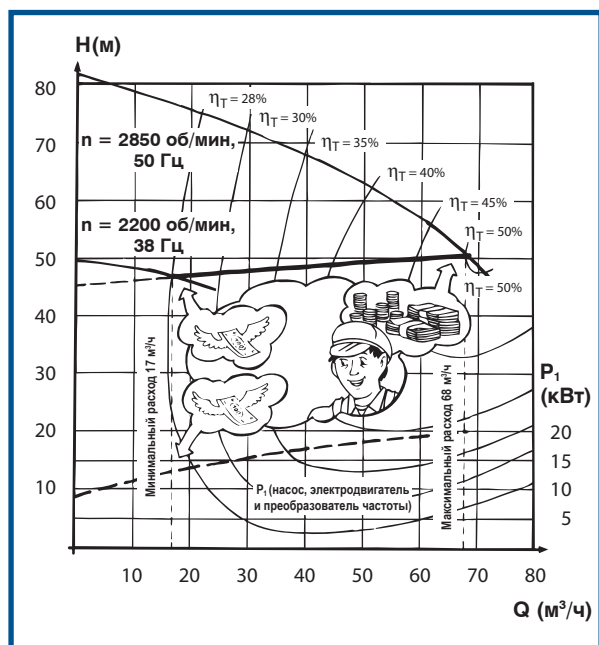


Рис. 37. Регулирование отдельного насоса

Эта диаграмма показывает, что общий КПД насоса, электродвигателя и преобразователя частоты при максимальной подаче составляет 50%. Однако при минимальной подаче он падает до 28%.

Указанная диаграмма показывает значительное повышение экономической эффективности такой системы при распределении подачи, по меньшей мере, на четыре насоса.



Рис. 38. Система регулирования MF по методу GRUNDFOS

Система регулирования MF

В соответствии с этой системой только у одного из четырех насосов производят частотное регулирование, получая при этом минимальный расход, при котором возможен минимальный КПД, составляющий 45%. При других значениях расхода общий КПД колеблется в пределах 48–50%.

Для генераторов погружных электродвигателей существуют стандартные условия эксплуатации, например:

- максимальная высота над уровнем моря 150 м;
- максимальная температура охлаждающего воздуха 30°C;
- максимальная влажность воздуха 60%.

При превышении этих параметров мощность на выходе стандартного дизельного двигателя, а также, вполне возможно, и самого генератора необходимо снизить с тем, чтобы обеспечить достаточное напряжение.

При заказе электрогенератора нужно задавать высоту над уровнем моря, температуру охлаждающего воздуха и максимальную влажность окружающего воздуха с тем, чтобы изготовитель генератора соответствующим образом снизил его мощность (генераторы для трехфазных погружных электродвигателей должны при пуске выдерживать падение напряжения до 35% от номинала).

В следующих таблицах даны рекомендации по выбору генераторов с внутренним регулированием мощности устойчивого короткого замыкания для одно- и трехфазных электродвигателей, прямой пуск.

Примеры коэффициента сокращения параметров для стандартных дизельных двигателей	Примеры коэффициента сокращения параметров для стандартных генераторов
Высота над уровнем моря: 3,5% на каждые 300 м, при высоте свыше 150 м над уровнем моря (2,5% для машин с турбоагнетателем)	Высота над уровнем моря: 2,5% на каждые 300 м, при высоте свыше 1000 м над уровнем моря
Температура охлаждающего воздуха: 2% на каждые 5,5°C при температуре свыше 30°C (3% для машин с турбоагнетателем)	Температура охлаждающего воздуха: 5% на каждые 5°C при температуре свыше 40°C
Влажность: 6% при относительной влажности воздуха 100%	

Мощность одно- и трехфазных погружных электродвигателей, кВт	Параметры генератора		Макс. высота 150 м над уровнем моря и 100%-ная относительная влажность		Макс. высота 750 м над уровнем моря и 100%-ная относительная влажность	
	Мощность, развиваемая дизельным двигателем при температуре окружающей среды					
	кВт	кВт	30°C (кВт)	40°C (кВт)	30°C (кВт)	40°C (кВт)
0,25	1,5	1,0	1,25	1,3	1,4	1,43
0,37	2,0	1,5	2,0	2,1	2,3	2,3
0,55	2,5	2,0	2,5	3,1	2,8	2,86
0,75	3,0	2,5	3,0	3,1	3,4	3,44
1,1	4,0	3,0	4,0	4,2	4,5	4,58
1,5	5,0	4,0	5,0	5,2	5,6	5,73
2,2	7,0	6,0	7,0	7,3	7,8	8,0
3,7	11	9,0	10	10,4	11,1	11,5
5,5	16	12,5	14	14,6	15,6	16
7,5	19	15	17	17,7	19	20
11,0	28	22	25	26	28	29
15,0	38	30	35	36	39	40
18,5	50	40	45	47	50	52
22	55	45	50	52	56	57
30	75	60	65	68	72	75
37	95	75	83	86	92	95
45	110	90	100	104	111	115
55	135	110	120	125	133	137
75	185	150	165	172	183	189
90	220	175	192	200	215	220
110	250	200	220	230	244	250
132	313	250	275	290	305	315
150	344	275	305	315	335	345
185	396	330	365	405	405	415
220	478	396	444	478	502	524

Если снизить мощность на выходе генератора и дизельного двигателя в соответствии с приведенными в этой таблице данными, то получим следующие результаты:

1. Падение напряжения на генераторе во время его пуска не превышает 10%. В этих условиях следует применять защитный автомат электродвигателя с кратчайшим временем расцепления.
2. Генератор и дизельный двигатель имеют нормальный срок службы, поскольку новая, полностью обкатанная машина при непрерывном токе полной нагрузки электродвигателя насоса нагружена примерно лишь на 70%.

При 70–80% максимальной нагрузке дизельный двигатель имеет обычно максимальный КПД (минимальное потребление топлива на 1 кВт выходной мощности)

На рынке предложены два типа генераторов: с внутренним и внешним регулированием.

У генераторов с внутренним регулированием в статоре имеется дополнительная обмотка. Их обозначают как генераторы с самовозбуждением. В дополнительной обмотке выходное напряжение автоматически повышается при повышении выходного тока.

Наилучший КПД достигается при эксплуатации генераторов с внутренним регулированием.

У генераторов с внешним регулированием снаружи устанавливают регуляторы напряжения, которые регулируют выходное напряжение. Если при пуске электродвигателя падает напряжение, то регулятором напряжения повышают выходное напряжение генератора.

Генератор с внешним регулированием должен иметь примерно на 50% более высокую активную/индуктивную мощность, чтобы достичь такого же пускового крутящего момента, какого достигает генератор с внутренним регулированием.

Наряду с правильным расчетом и выбором параметров большое значение имеет частота генератора, поскольку с изменением электрической частоты изменяется и частота вращения электродвигателя. Согласно законам гидравлики насос, работающий с частотой на 1–2 Гц ниже обозначенной на фирменной

табличке электродвигателя, не достигает своей расчетной мощности. Если же соответствующая частота на 1–2 Гц выше, может сработать реле перегрузки.

Работа электрогенератора

Запуск генератора всегда должен происходить до запуска электродвигателя насоса, а также он должен выключаться после того, как насос будет остановлен.

Несоблюдение этих требований может привести к разрушению опорного подшипника электродвигателя. То же самое может случиться при останове генератора из-за недостаточного количества топлива в баке.

Выбор водоподъемной трубы определяется рядом факторов, среди которых:

- напор и глубина погружения;
- коррозионная активность подземных вод;
- наличие и стоимость альтернативных решений;
- расходы на приобретение по сравнению с расходами на последующее техническое обслуживание и ремонт.

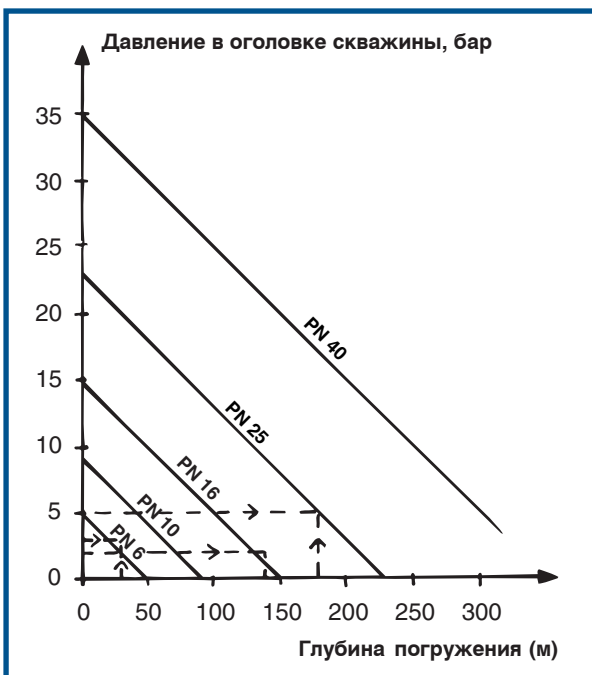


Рис. 39. Зависимость требуемого уровня давления, выдерживаемого трубами, от глубины погружения и фактического давления

Коррозионная активность подземных вод в большинстве случаев настолько мала, что для ее нейтрализации вполне достаточно труб с гальваническим покрытием. При каждом ремонте скважины, насоса и водоподъемной трубы либо при очистке уложенных в земле труб из ПВХ следует заменять по меньшей мере два участка труб: тот, который находился ближе всего к насосу, и тот (или те), который (е) подвергается (ются) воздействию при колебаниях статического и динамического уровней воды. Незначительно подвергнутые коррозии трубы можно продолжать использовать, расположив их выше уровня воды. Зависимость требуемого уровня давления, выдерживаемого трубами, от глубины погружения и фактического давления показана на рис. 39.

Коррозия труб

В некоторых скважинах низкое качество воды приводит к значительной коррозии водоподъемных труб, изготовленных из стали с обычным или гальваническим покрытием. Наиболее частыми причинами коррозии являются: малая величина pH, агрессивное воздействие углекислоты или наличие электропроводящих солей.

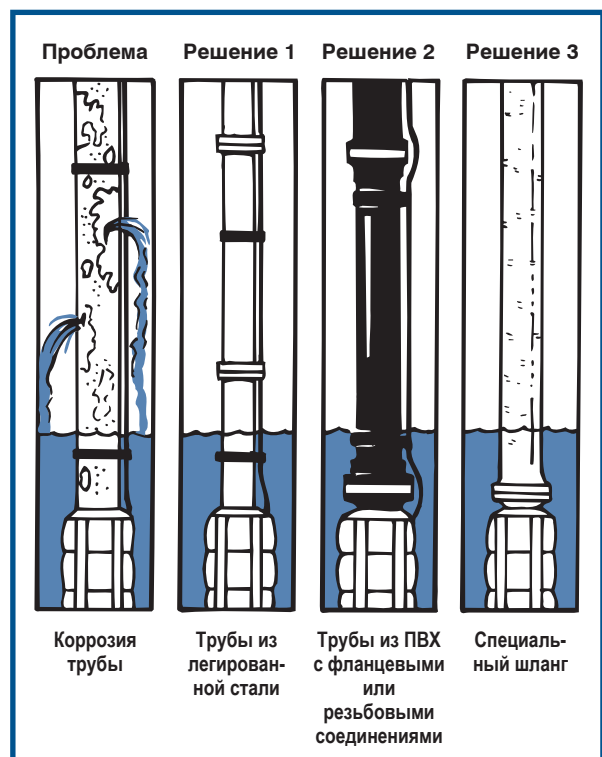


Рис. 40. Коррозия труб и способы ее предотвращения

Решение проблемы коррозии труб

Эта проблема имеет несколько решений. Можно, например, как показано на рис. 40, использовать для водонапорной трубы легированную сталь, которая обладает такой же коррозионной устойчивостью, как и сам насос.

Для выбора водоподъемных труб из легированной стали существует несколько классов коррозии. Достаточно часто эти трубы изготавливают из материала № 1.4401/AISI 316 или из материала более высокого

класса. При использовании труб с резьбой, для сопротивления коррозии, а также с целью смазки и обеспечения допусков на резьбу, нужно применять уплотнительную массу требуемого типа. Если же применять трубы с фланцевым присоединением, то для сопротивления коррозии в этих фланцах выполняют пазы для уплотнительных колец круглого сечения. Плоские уплотнения для нержавеющих фланцев следует применять только в обладающих достаточной коррозионной активностью подземных водах.

Расходы на приобретение водоподъемных труб из легированной стали как минимум в два раза выше, чем труб с обычным или гальваническим покрытием. Однако, если правильно выбрать качество легированной стали, срок службы труб из этой стали практически не ограничен, и при проведении капитального ремонта нужно заменять лишь уплотнительные кольца, поврежденные болты и гайки.

При использовании в этой же скважине труб с обычным или гальваническим покрытием между двумя капитальными ремонтами приходится заменять 20-30% этих труб, чтобы избежать более значительной (питтинговой) коррозии. По сравнению с общим сроком службы насоса и скважины покупка труб из легированной стали в конечном счете окупается.

Если рассматривать преимущества с точки зрения технического обслуживания и коррозионной стойкости, то можно привести четыре важных аргумента в пользу водоподъемных труб из легированной стали.

1. При сборке и разборке трубы можно укладывать на стеллаже, и они не будут загрязнены почвенными бактериями и различными микроорганизмами.
2. Трубы можно изнутри очистить пескоструйкой, после чего они снова приобретут прежний внутренний диаметр и прежнюю гладкость внутренней поверхности.
3. Трубы могут быть продезинфицированы с помощью хлора.
4. Они могут быть изготовлены под требуемое давление, что важно, когда давление превышает 50 бар.

Соединение труб и установка

GRUNDFOS предлагает широкую гамму продукции, совместимой с напорными патрубками скважинных насосов. Насосы поставляются как с резьбовыми, так и с фланцевыми трубными присоединениями.

GRUNDFOS рекомендует установить сначала на насос трубу длиной 50 см. Это упрощает дальнейший монтаж, поскольку длина насосного узла невелика. С другой стороны, остается достаточно места для удерживания насоса скобой до тех пор, пока не будет закреплена следующая труба (рис. 41).

Длинный насосный блок нужно устанавливать очень осторожно. При подъеме из горизонтального в вертикальное положение насос ни в коем случае нельзя опускать на землю, поскольку в этом случае можно повредить всасывающую часть.

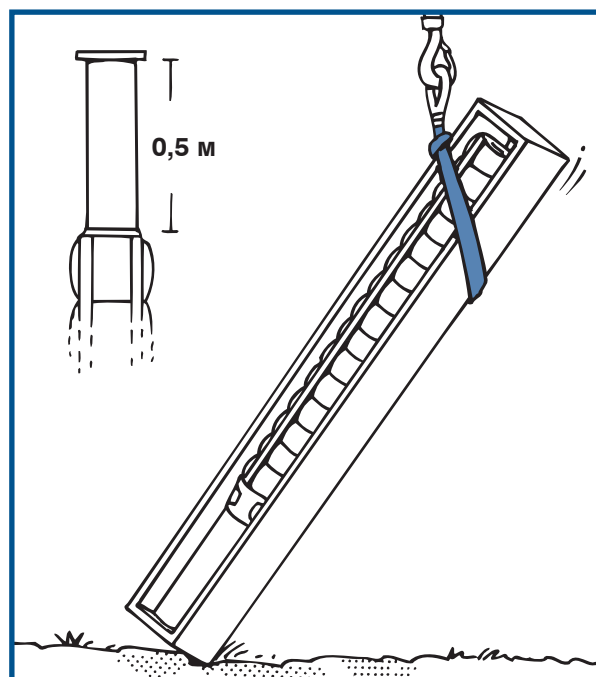


Рис. 41. Подъем насосного блока большой длины

Существуют два способа установки насоса:

- состыковать насос с электродвигателем в вертикальном положении, или
- стыковка при подъеме насоса (рис. 42).

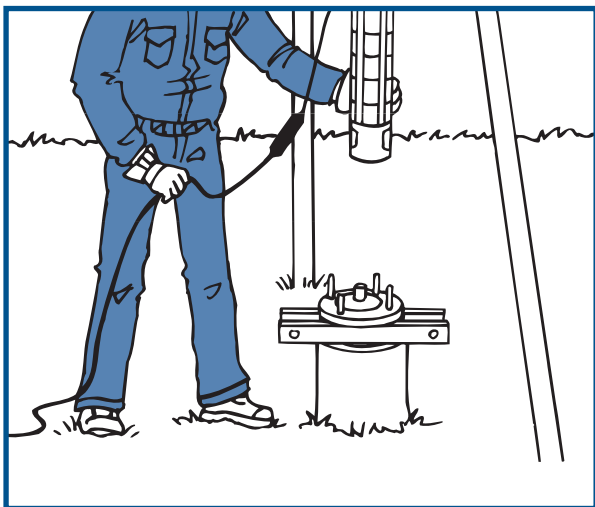


Рис. 42. Вертикальная установка насоса

В качестве альтернативы резьбовым соединениям существуют различные виды фланцев: фланцы, применяемые фирмой GRUNDFOS, и фланцы соответствующие DIN. Фланцы, применяемые фирмой GRUNDFOS, рассчитаны для установки в скважинах и не соответствуют никаким официальным нормам.

Фланцы GRUNDFOS по сравнению с фланцами, соответствующими DIN, имеют меньший диаметр. Они не только дешевле, но и более компактны. Поэтому возможен монтаж в относительно узкой скважине сравнительно крупного насоса.

Варианты установки подъемных труб — труба/шланг

Полиэтиленовые и поливинилхлоридные подъемные трубы редко применяют в профессиональном водоснабжении, поскольку требуемые при этом резьбовые соединения изготавливают обычно из латуни и бронзы, которые могут стать в воде источником свинца.

При откачивании воды, обладающей очень высокой коррозионной активностью, нужно применять водоподъемные трубы в виде гибких труб и шлангов, например, по системам Well Master/Foraduc (рис. 43). Необходимые соединения из нержавеющей стали для обеих систем на рынке имеются. Кроме того, погружной кабель должен быть на 4% длиннее водоподъемной трубы, поскольку она удлинится вследствие нагрузки.

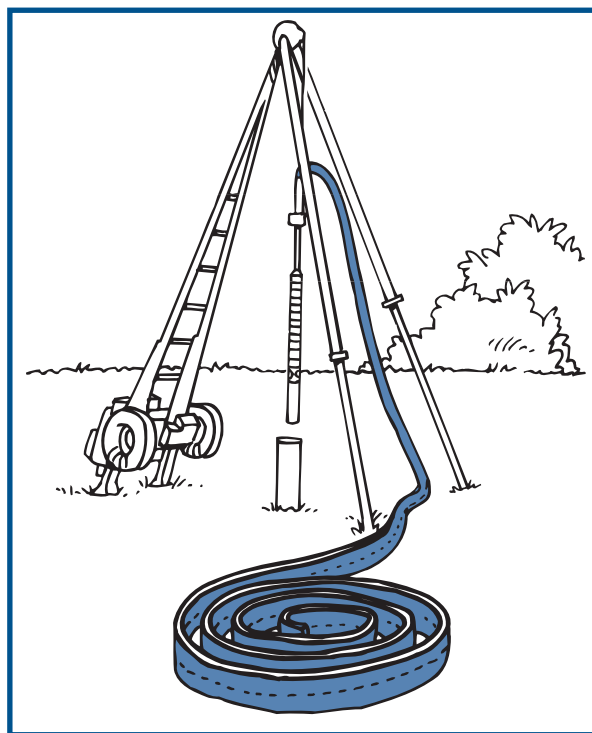


Рис. 43. Установка водоподъемной трубы по системе Well Master/Foraduc

При использовании труб/шлангов систем Well Master/Foraduc можно добиться хорошей самоотчистки, установив в уплотнении скважины обратный клапан и в обратном клапане насоса просверлить отверстие

ВОДОПОДЪЕМНАЯ ТРУБА

4 мм, либо этот клапан снять. Это позволяет сдуть шланг при остановке насоса. Насос при пуске вибрирует и поэтому шланг очень быстро раздувается. В результате часть отложений осыпается. Таким образом, можно считать, что системы Well Master/Foraduc и аналогичные им являются идеальными решениями для водоподъемных труб.

Когда в обратном клапане просверлено отверстие, то вследствие обратного тока воды происходит потеря энергии.

В качестве шлангов для водоподъемных труб нельзя использовать пожарные, нейлоновые и аналогичные шланги, потому что они быстро стареют. При этом возникает риск падения насоса и электродвигателя в скважину, что может привести к необходимости бурения новой скважины. В любом случае насос должен быть предохранен от падения в скважину тросом из нержавеющей стали. Недостатком систем Well Master/Foraduc можно считать применение специального дорогостоящего оборудования для предохранения шланга от контакта с землей, а, следовательно, от бактерий и различных микроорганизмов.

Когда водоподъемные трубы и трубы для грунтовой воды рассчитываются по диаграмме или с помощью программных средств, следует учитывать шероховатость труб, равную 1 мм.

Продолжительность интервалов между сервисным обслуживанием насоса, электродвигателя, трубопровода скважинных фильтров и т.д. определяется рядом факторов, важнейшими из которых являются:

1. Содержащиеся в воде абразивные частицы (например ил или мельчайший песок) могут привести к износу подвижных деталей и/или будут откладываться в горизонтальных участках трубопровода, где они станут причиной повышения скорости потока и, следовательно, больших потерь на трение.
2. Содержащиеся в воде частицы железа, марганца, извести и бактерии могут откладываться на внутренних поверхностях труб, щелях скважинных фильтров, всасывающей части насосов, рабочих колесах и направляющих аппаратах.
3. Наличие веществ (например, коррозионно-активных углекислот, солей или ионов меди), которые входят в контакт с насосами, а также с водоподъемными трубами, арматурой и скважинными уплотнениями, вызывая их коррозию, что приводит к возникновению негерметичности.
4. Скачки напряжения при электроснабжении, которые могут постепенно снизить сопротивление изоляции в обмотках электродвигателя.
5. Чрезвычайно высокая температура воды или плохие условия охлаждения, которые ведут к постепенному старению резиновых деталей изоляции.
6. Частота таких явлений как «сухой» ход, кавитация или всплытия рабочих колес. Такие обстоятельства возникают, например, при разрывах трубы или крупных пожарах, когда действия пожарной команды при откачивании воды вызывают падение давления в трубопроводе.

Непрерывное протоколирование параметров насоса (например, при измерении его производительности, расхода и давления) с помощью расходомера и манометров позволяет наглядно видеть, насколько быстро возникают отложения или в какой мере износ деталей снижает КПД насоса. Вода, выкачиваемая со слишком высоким потреблением мощности из расчета на 1 м³, может служить весьма эффективным предупреждением об этом.

Регулярное измерение уровня воды в скважине и снятие показаний расходомера позволяет делать выводы относительно масштабов отложений в скважинном фильтре и понижения уровня воды в скважине.

Регулярное сравнение потребляемой мощности с количеством выкачиваемой воды позволяет судить о вероятных утечках в трубопроводе.

Исследование погружного кабеля с помощью магнитоэлектрического генератора с ручным приводом позволяет выявить повреждения от скачков напряжения или плохого охлаждения.

Средний интервал между техническими осмотрами скважинных насосов составляет около 7–8 лет, или 20000–25000 мото-часов.

В случае возникновения проблем, приведенных в пунктах 1–6, сокращение интервала между техническими осмотрами может обеспечить экономию энергии.

При оснащении насоса блоком CU 3 комплексной защиты электродвигателя становится возможным контроль потребления электроэнергии (кВт•ч) и количества часов эксплуатации. Это осуществляется с помощью пульта дистанционного управления R 100. Если, кроме того, установить на насос и расходомер с непрерывной передачей сигнала блок CU 3, то можно также считывать информацию и о величине потребляемой электроэнергии из расчета на 1 м³ выкачиваемой воды (кВт•ч/м³). Этот показатель является важнейшим параметром для определения КПД всей системы и назначения срока проведения очередного технического осмотра.

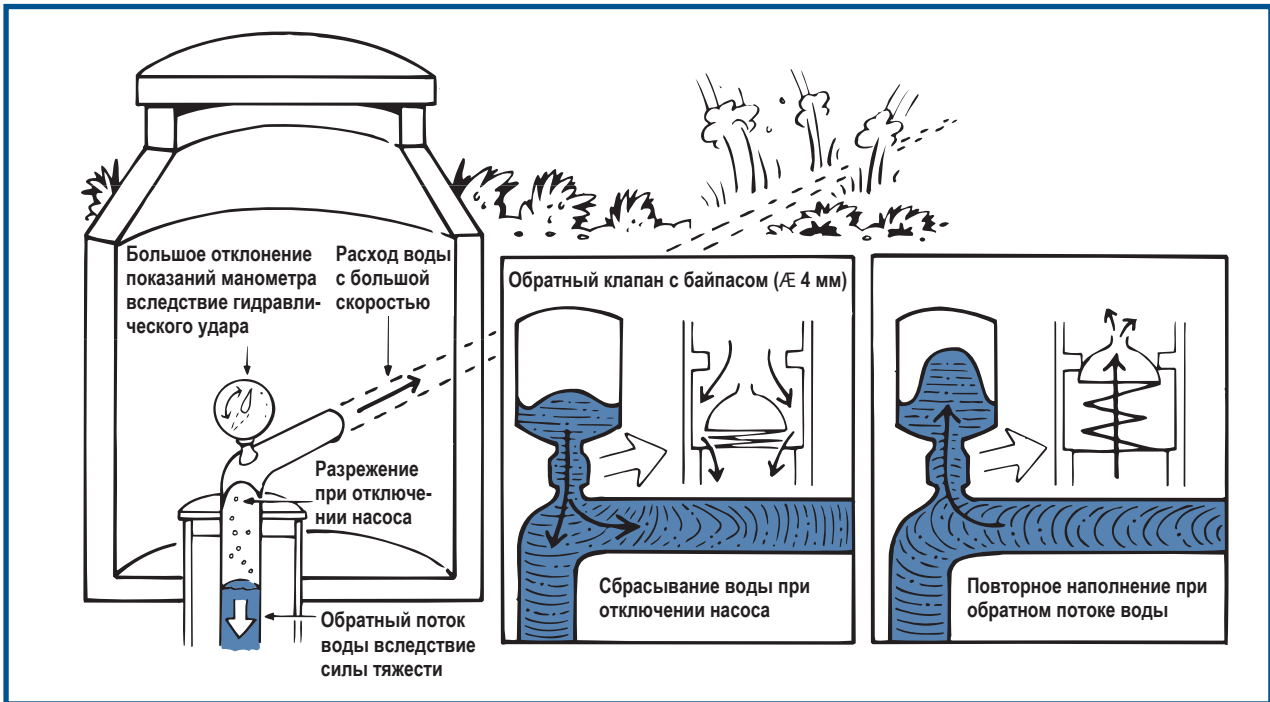


Рис. 44. Способы предотвращения гидравлического удара

В системе трубопровода, подающего грунтовую воду и служащего для распределения воды, содержится несколько тонн воды, которые при пуске/останове насоса резко приводятся в движение либо тормозятся. Возникающие в результате этого движения колебания давления обычно находятся в допустимых пределах номинального давления (PN) соответствующей системы труб. Ряд способов предотвращения гидравлического удара показан на рис. 44.

Если в системе достаточно протяженный участок расположен вертикально, колебания в нормальных условиях снизятся до допустимого уровня, если будет выполнено одно из следующих условий:

1. Установлен мембранный напорный бак емкостью 50 л с начальным давлением, соответствующим 0,7 фактической величины рабочего давления (при подаче насоса до 50 м³/ч), либо мембранный напорный бак емкостью 100 л или два бака емкостью по 50 л с соответствующим начальным давлением, равным 0,7 величины фактического рабочего давления при подаче насоса свыше 50 м³/ч.
2. Частотно-регулируемый пуск насоса, при котором частота в течение 30 с повышается с 30 до 50 Гц.

3. Плавный пуск со временем ускорения 3 с, дополняемый наличием напорного бака емкостью 50 л с начальным давлением, соответствующим 0,7 фактической величины рабочего давления. Установка лишь одного прибора плавного пуска не гарантирует защиты от гидравлического удара.
4. Регулируемый по времени и приводимый от электродвигателя дроссельный клапан, время открытия которого составляет 60 с. При пуске насоса этот клапан начинает постепенно открываться и за 60 с до остановки насоса закрывается. Это решение нерационально в отношении энергопотребления.

Мембранные напорные баки служат лишь для того, чтобы предотвратить скачок давления. Поэтому они неприменимы для регулирования насосов. В скважинах с глубиной воды 8–9 метров колебания давления при остановке насоса создает разрежение, в результате которого в скважину могут затягиваться загрязнения. Эта проблема решается с помощью мембранных напорных баков.

Скачок давления

Если выходящая из скважины горизонтальная напорная магистраль имеет слишком большую длину, то при остановке насоса может возникнуть скачок давления.

При остановке насоса водяной столб в водозаборной трубе вследствие силы тяжести опускается и возникает разрежение на стыке горизонтального и вертикального участков. Из-за внезапно возникающего вакуума водяной столб тормозится, и вода течет назад в направлении насоса. Этот объем текущей воды наталкивается на водяной столб, находящийся над обратным клапаном. При этом превышает давление парообразования и возникает гидравлический удар. При больших объемах обратного потока воды возникает опасность повреждения насоса и всей системы.

Если в скважине находится коррозионно-активная вода, то качество применяемой для электродвигателя, насоса, водоподводящей трубы, клапанов и т.д. легированной стали должно быть таким, чтобы сталь могла выдерживать воздействие коррозионно-активных веществ в воде.

Насосы GRUNDFOS SP поставляются в трех различных исполнениях. Стандартные изделия для питьевой воды изготавливают из легированной стали (материал № 1.4301, AISI 304).

На детали, изготовленные из легированной стали типа N, ставят штамп «N». Они более устойчивы к воздействию воды с содержанием минеральных солей (т.н. «солончатая вода»). Эта легированная сталь обозначается как материал № 1.4401, AISI 316.

На детали, изготовленные из легированной стали типа R, ставят штамп «R». Они устойчивы даже к воздействию экваториальной соленой воды. Эта легированная сталь обозначается как материал № 1.4539, AISI 9041.

Детали из этих сталей выглядят одинаково и отличаются только нанесенным на них обозначением и фирменной табличкой на насосе и электродвигателе.

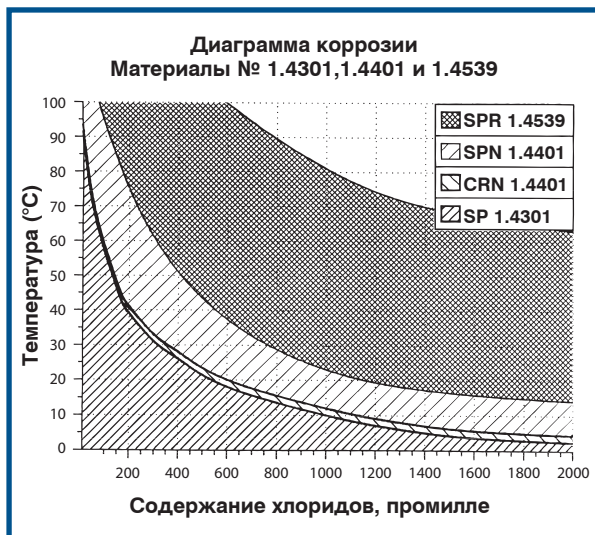


Рис. 45. Качество питьевой воды

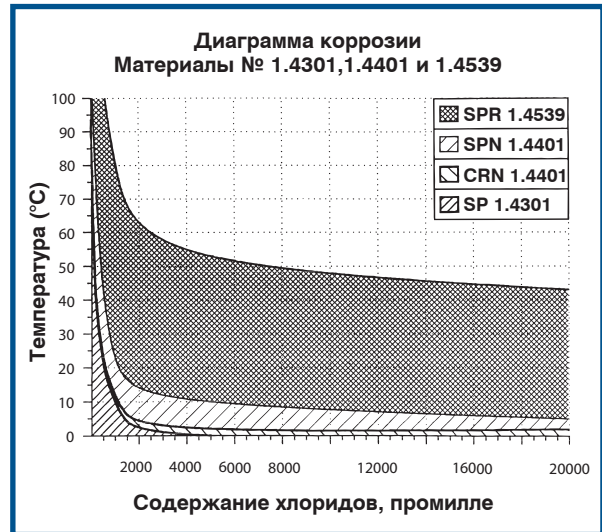


Рис. 46. Качество солончатой и соленой воды

Коррозия — это всеобщая проблема, решение которой требует больших профессиональных знаний. Величина pH в диаграммах, показанных на рис. 45 и 46, почти нейтральная, т.е. pH = 7–8. Температура воды должна замеряться непосредственно на месте, содержание хлоридов (в промилле) определяется при анализе воды.

Примеры применения диаграммы

При температуре подземных вод, равной 10°C, можно применить **стандартную легированную сталь (материал № 1.4301)** в том случае, если содержание хлоридов в воде не превышает 1000 частей на миллион.

Сталь типа N (материал № 1.4401) можно использовать при содержании хлоридов до 5000 частей на миллион.

При температуре морской воды 40°C нужно применять **сталь типа R**, если содержание хлоридов превышает 20000 частей на миллион.

При температуре подземных вод свыше 10°C и содержании в них хлоридов 1000 частей на миллион следует провести комплексный анализ этих вод. Кроме того, необходимо проконсультироваться с

GRUNDFOS, поскольку даже присутствие в подземных водах других солей, возможно, позволит все-таки применить рассматриваемый тип легированной стали. Приведенные на рис. 45 и 46 диаграммы относятся лишь к насосам, работающим ежедневно не менее двух часов.

Коррозия насосов и труб

В скважинах с исключительно горячей и коррозионно-активной водой, например в геотермальных, шахтных и т.д., коррозия может воздействовать как на насос, так и на водоподъемную трубу. Это относится и к насосам в доках или аналогичных установках, где насосы эксплуатируются не ежедневно.

Решение проблемы коррозии

Для скважины такого типа следует применить катодную защиту электродвигателя насоса и водоподъемной трубы. Схема такой защиты показана на рис. 47. Для ее осуществления ниже уровня подъемных вод на насосе, электродвигателе и водоподъемной трубе устанавливают цинковые аноды. Анод должен быть расположен таким образом, чтобы он был электрически связан с защищаемой сталью. Требуемое количество цинка определяется агрессивностью перекачиваемой воды. Для обеспечения длительной защиты обычно достаточно цинка, составляющего по массе 20% от совокупной массы электродвигателя, насоса и водоподъемной трубы.

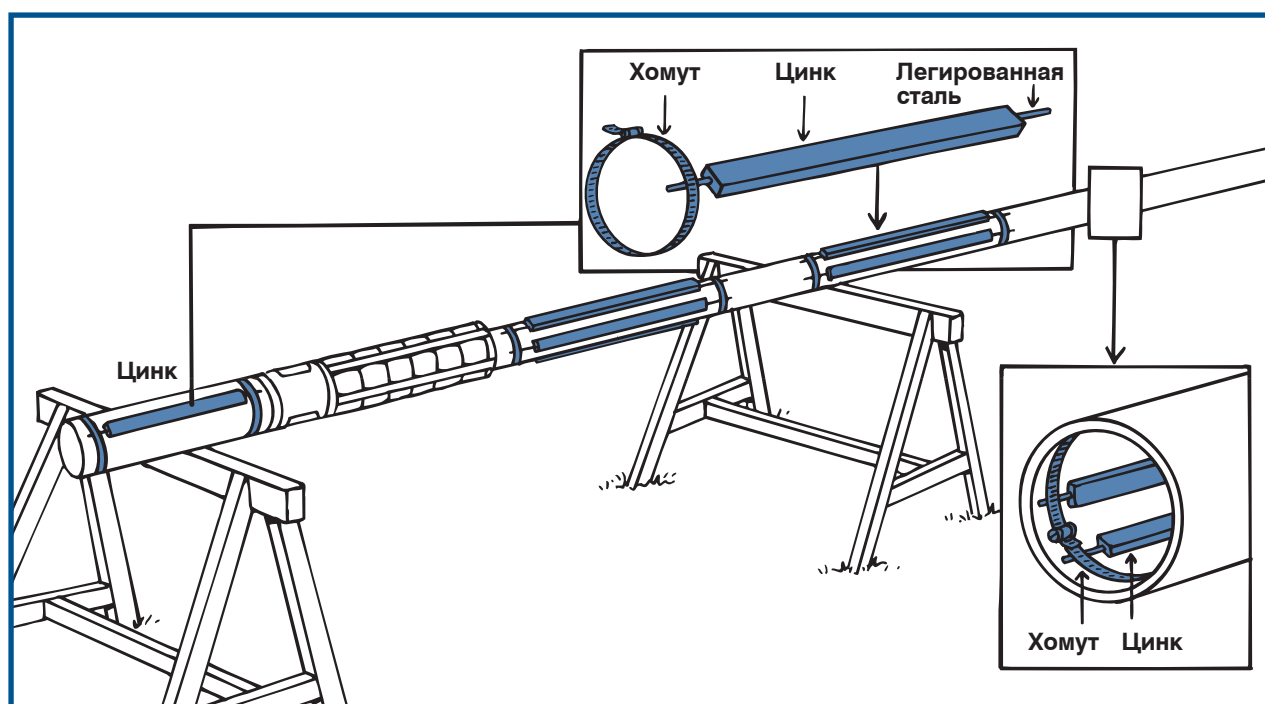


Рис. 47. Схема катодной защиты электродвигателя, насоса и водоподъемной трубы

При эксплуатации погружных насосов обычно кавитации не возникает. Однако при сочетании двух нижеприведенных факторов (в случае незначительных глубин погружения) могут наступить вызванные кавитацией повреждения у насоса и электродвигателя.

1. Перекачивание воды с высоким содержанием растворенного воздуха.
2. Уменьшение противодавления, например, в результате прорыва труб, возникновения значительной (питтинговой) коррозии водоподъемной трубы и обусловленной этим очень высокой подачей.

Требуемую высоту H всасывания для предотвращения кавитации, повреждения насоса и электродвигателя рассчитывают по следующей формуле:

$$H = H_b - NPSH - H_{\text{потерь}} - H_v - H_s, \text{ где}$$

- H_b = атмосферное давление — 10,2 м
- $NPSH$ = приведенный подпор на всасывании
- $H_{\text{потерь}}$ = падение давления во всасывающей трубе
- H_v = давление пара
- H_s = коэффициент запаса — 1 м
- H = высота всасывания (при отрицательном значении этого параметра это означает необходимость подпора)

Если при расчетах по этой формуле получается положительное значение, то насос теоретически может обеспечить всасывание с заданным значением H . Схематически компоненты вышеприведенной формулы рассмотрены на рис. 48.

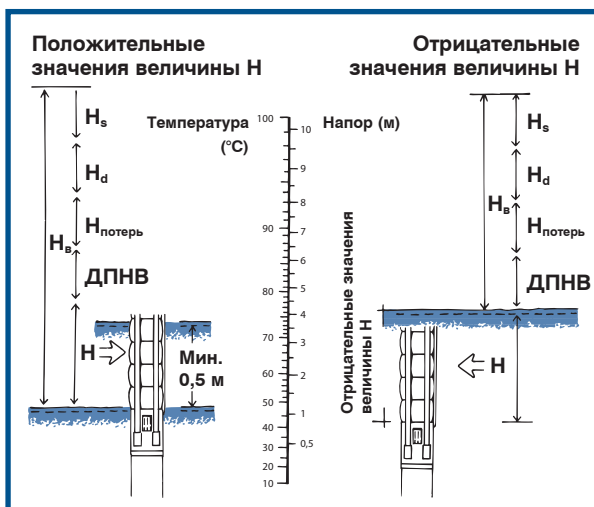


Рис. 48. Глубина установки насоса в скважине

Пример

Погружной насос модели SP 60 с напором 78 м³/ч

H_b	10,0 м
ДПНВ согласно паспорту	4,2 м
$H_{\text{потерь}}$	0,0 м
H_v при температуре 32°C	0,5 м
H_s	1,0 м

$$H = 10 - 4,2 - 0 - 0,5 - 1,0 = 4,3 \text{ м}$$

Поскольку величина H положительна, насос без отрицательных последствий может создать разрежение 0,43 бар. Это означает, что не требуется принимать никаких специальных мер. При коррозии водоподъемной трубы и возникновении в результате отверстия в этой трубе диаметром 20 мм противодавления не возникает, и расход повышается до величины не более чем 90 м³/ч.

H_b величина не изменилась	10,0 м
$NPSH$ увеличились до	8,0 м
$H_{\text{потерь}}$ величина не изменилась	0,0 м
H_v величина из-за циркуляции изменилась до	4,6 м
H_s величина не изменилась	1,0 м

Это дает

$$H = 10 - 8 - 0 - 4,6 - 1,0 = -3,6 \text{ м}$$

Отрицательное значение величины означает, что вход насоса в скважину должен находиться не менее чем на 3,6 м ниже динамического уровня воды, поскольку в противном случае возникнет кавитация насоса.

При кавитации насоса возникают, как показано на рис. 49, значительные потери его производительности.

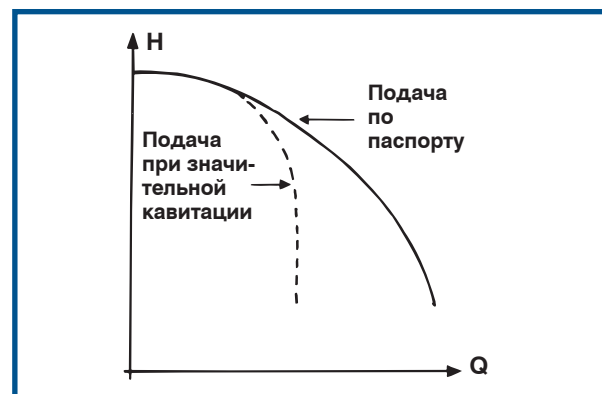


Рис. 49. Потеря производительности насоса при кавитации

Диаграмма расчета минимальной глубины установки насоса в скважине

Определение корректной глубины установки насоса в скважине

Действующее в данный момент значение величины NPSH определяют согласно паспорту. Величину $H_{\text{потерь}} + \text{коэффициент безопасности}$ рассматривают как исходный пункт на диагональной линии потерь.

Пример:

Погружной насос модели SP 125 с подачей $Q = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$. Исходные данные: $H_{\text{потерь}} = 3,5 \text{ м}$, $H_s = 1 \text{ м}$, всего 4,5 м.

На диаграмме (рис. 50) откладываем на линии потерь величину 4,5 м, ведем из этой точки линию вертикально вверх до характеристики NPSH (8 м), оттуда горизонтально вправо до линии температуры воды (10°C), потом вертикально вниз до линии X и оттуда уже горизонтально влево. В результате получаем необходимую глубину монтажа насоса в скважине ниже динамического уровня воды. В данном случае минимальная глубина установки насоса составляет 4 м.

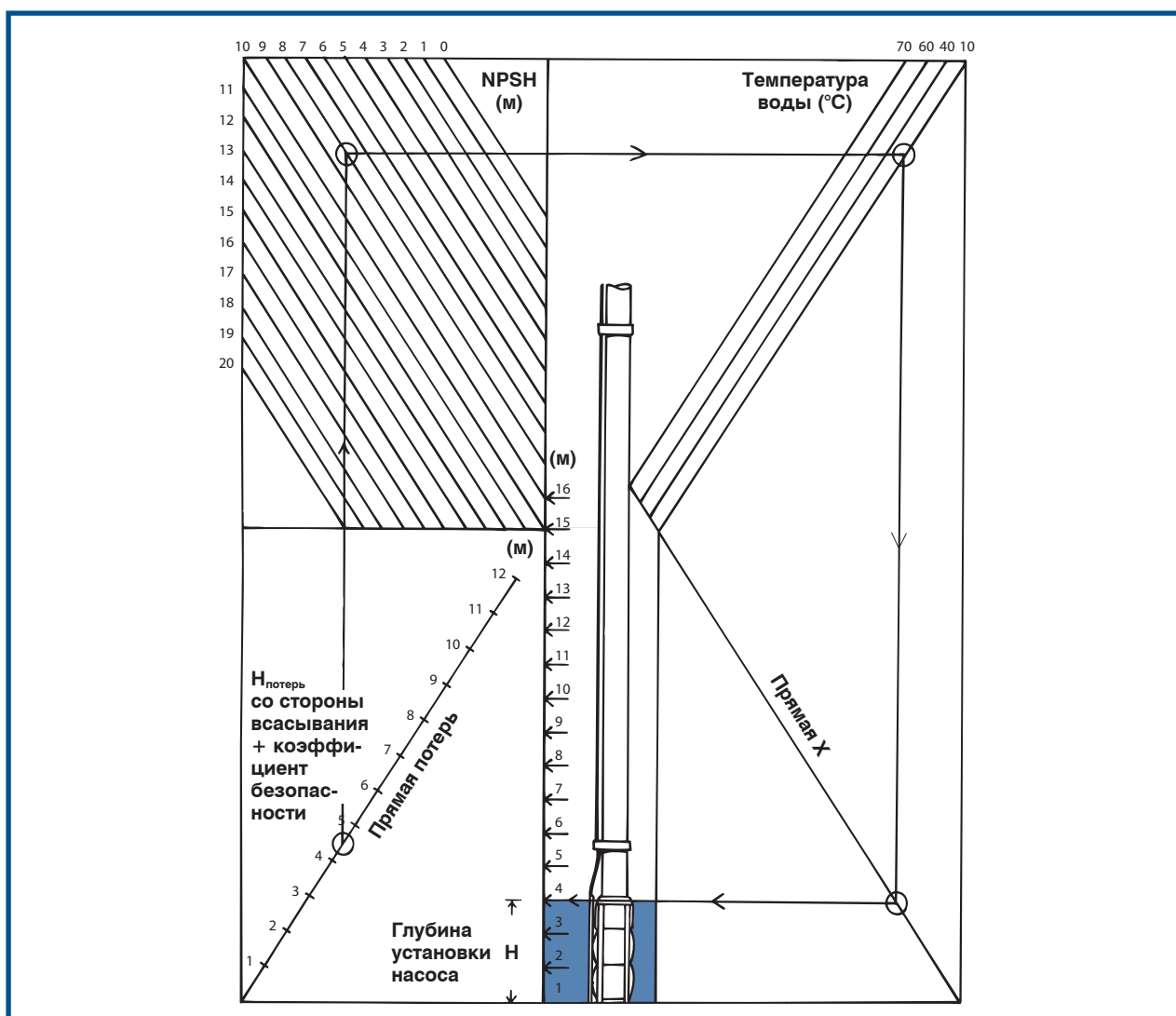


Рис. 50. Диаграмма расчета минимальной глубины установки насоса в скважине

В нормальных условиях у погружных насосов осевого смещения не происходит, однако использование систем, где возможно появление неблагоприятных гидравлических режимов, может привести к возникновению повреждений.

Если у насосов установлено больше рабочих колес, чем требуется для его эксплуатации и обеспечения номинальной производительности при максимальном КПД, величина подачи будет очень велика. В результате рабочие колеса при известных условиях начинают «всплывать», т.е. вал насоса испытывает давление вверх. В таком состоянии рабочие колеса и их ступицы могут стать источниками вибраций, которые передаются на вал электродвигателя, если рабочие колеса или их ступицы сталкиваются с опорами или направляющими устройствами вышележащих камер (разве только при этом не будет встроены диск для компенсации распора). Схема компенсации осевого смещения показана на рис. 51.

Диск компенсации осевого смещения в насосе не предназначен для постоянной работы. Это означает необходимость снижения величины смещения до оптимальной рабочей точки путем применения следующих мер:

- сокращение числа рабочих колес или камер;
- дросселирование задвижки трубы со стороны напора;
- снижение интенсивности потока и использование дроссельной заслонки;
- регулирование частоты вращения с помощью преобразователя частоты

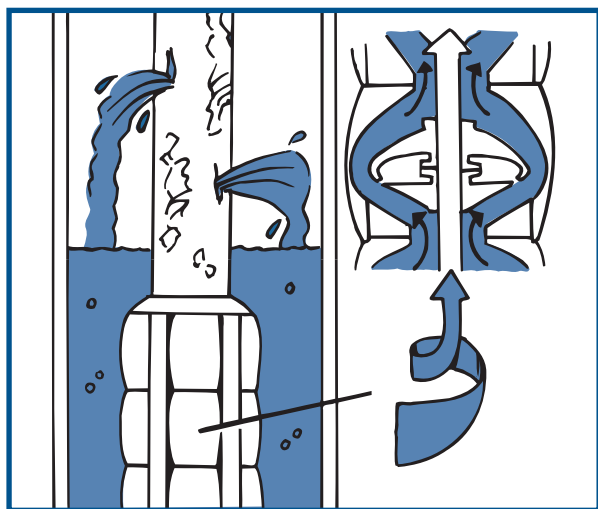


Рис. 57. Схема компенсации осевого смещения

Осевое смещение может возникнуть и в том случае, если вследствие коррозии водоподъемной трубы отсутствует противодействие. Поэтому поток у насоса исключительно велик, и выходное давление снижается. Возможной причиной этого могут быть «плавающие» рабочие колеса. Проблема решается герметизацией или заменой поврежденного участка.

Осевое смещение, возникающее при импульсном режиме эксплуатации

На рис. 52 показана схема водозабора с помощью двух насосов. При работе обоих насосов происходит перемещение 19 т воды со скоростью свыше 1 м/с. Когда один или оба насоса отключаются, усилие, развиваемое этой водой в остановленном (ных) насосе (ах), давит таким образом, что рабочие колеса и вал вращаются с максимальной скоростью в обратном направлении.

При использовании насоса, работающего в режиме включения/выключения для повышения давления в направляющей системе, перемещаются тонны воды (рис. 53). В качестве примера такого рода применения насосов можно назвать перекачивание воды из рек, озер и морей для тушения пожаров, систем обратного осмоса, рыбных хозяйств, в качестве охлаждающей воды для электростанций либо поверхностных вод для водоочистки.

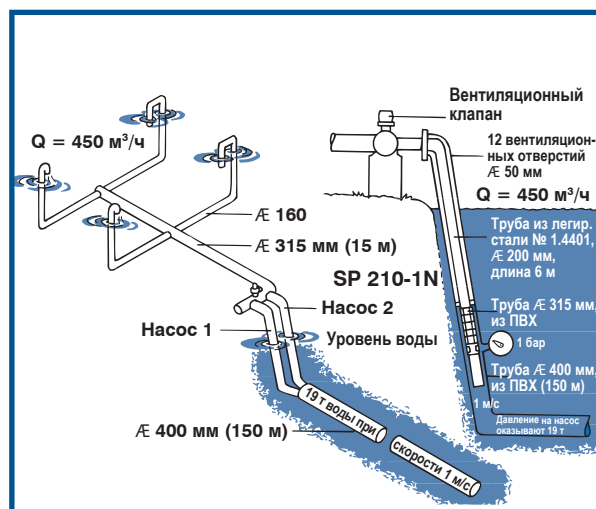


Рис. 52. Использование двух насосов для водозабора

ОСЕВОЕ СМЕЩЕНИЕ

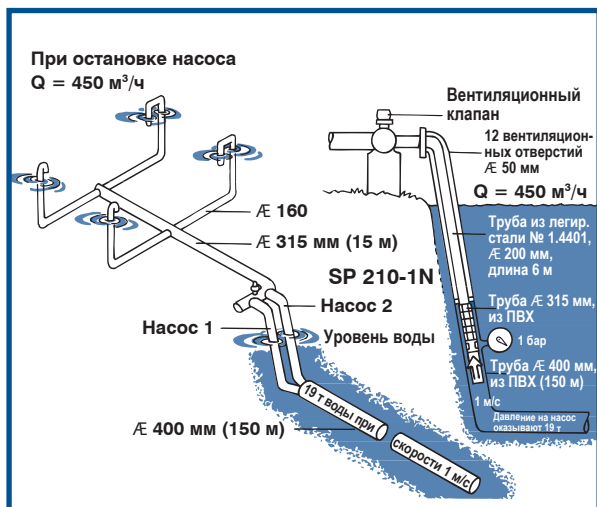


Рис. 53. Повышение давления при отключении насоса

Наилучшим решением при таком виде смещения является создание оснащенной обратным клапаном обходной магистрали с тем же диаметром, что и напорный трубопровод насоса (рис. 54). В результате вода поступает к насосу через обходную магистраль.

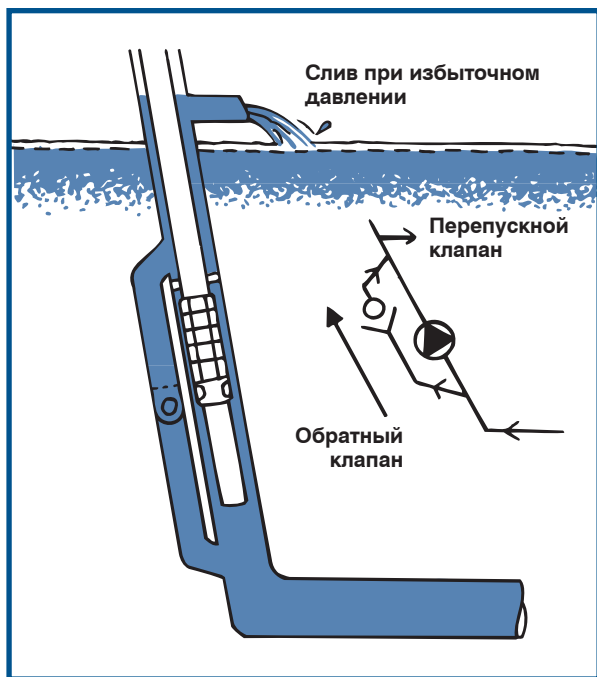


Рис. 54. Обходная магистраль (байпас)

Наибольшее смещение возникает в системах, у которых при отключении насосов происходит падение давления.

1. Типичной ситуацией, при которой может наступить смещение, является ввод в эксплуатацию (особенно впервые) оросительных установок.

У таких установок до того, как возникает давление в системе или в насосе, приходится заполнять водой километры труб или шлангов. Конструкция насосов GRUNDFOS такова, что смещение у них невозможно, т.к. эти насосы имеют либо встроенный диск компенсации смещения, либо соответствующим образом деформированные рабочие колеса. Это означает, что несколько минут эксплуатации насоса с осевым смещением не нанесут повреждений насосу.

2. Слив воды из пожарных труб для предотвращения размораживания влечет за собой пуск насоса без противодействия, что приводит к появлению осевого смещения.

3. Причиной появления осевого смещения при пуске насоса могут стать также водопроводные трубы в скважинах, у которых с насоса снят или просверлен обратный клапан.

В скважинной воде могут содержаться частицы с размерами меньше частичек ила. Эти частицы задерживаются фильтровальной системой и при обратной промывке снова поступают в воду.

Вода с песком попадает в те скважины, которые ранее не были подвергнуты тщательной продувке сжатым воздухом, либо оснащены некачественным фильтром или вовсе его не имеют. Для решения этой проблемы скважину основательно продувают сжатым воздухом с тем, чтобы динамический уровень воды в течение не менее двух-трех часов снизился до уровня фильтра. Перед окончанием этой продувки начинают постепенно снижать подачу и снижают ее до тех пор, пока в выкачиваемой воде не останется песка. **Для скважин, работающих в импульсном режиме, у которых имеется опасность перекачивания воды с мельчайшими частичками песка, во время проводимого в течение 72 ч испытания производительности скважины выкачивание следует производить с двойным расходом и без следов песка. Это обеспечивает в дальнейшем выкачивание из скважины воды без песка.** Наличие песка в скважине может быть вызвано также тем, что вследствие интенсивного выкачивания песок поступает из магистрали для подземных вод через участок фильтра.

Если из скважины внезапно начинает откачиваться песок, это может быть вызвано разрывом либо коррозией трубы скважинного фильтра и/или стенки скважины, или резьбовых соединений ее конструкции. Кроме того, может также произойти оседание грунта вокруг фильтра, что вызвано, скорее всего, миграцией песка по отношению к гравийной засыпке. Если высокое содержание песка в воде нельзя устранить путем основательной продувки сжатым воздухом, как указано выше, нужно использовать следующие способы:

- встроить в скважину телескопическую фильтровую трубу;
- осадить песок с помощью отстойника;
- пробурить новую скважину и оснастить ее высококачественным фильтром.

В 1975 г. Американским национальным объединением по грунтовым водам (NGWA) были рекомендованы следующие **предельные нормы содержания песка в выкачиваемой из скважин воде:**

1. **1 мг/л** в воде, предназначенной для пищевых целей и изготовления напитков.
2. **5 мг/л** в воде для водоснабжения частных домов, учреждений и промышленных предприятий.
3. **10 мг/л** в воде для орошения дождевальными установками, производственного испарительного охлаждения и для прочих применений, где незначительное содержание твердых частиц не приносит особого вреда.
4. **15 мг/л** в воде для орошения затоплением.
5. Если концентрация песка **превышает 15 мг/л**, то скважина теряет столько материала, что магистраль подачи подземных вод и лежащие над ней слои почвы прорываются (образуются каверны) и, соответственно, срок службы скважины сокращается.

GRUNDFOS исходит из допустимого содержания песка до 50 мг/л. Это примерно втрое больше, чем рекомендует NGWA. При содержании песка 50 мг/л КПД насоса из расчета 25000–35000 ч его эксплуатации остается на приемлемом уровне.

Вызванные воздействием песка повреждения для погружных насосов GRUNDFOS не играют большой роли в вопросах гарантийного обслуживания и ремонта, поскольку какие-либо повреждения у насоса могут возникнуть лишь при содержании песка свыше 50 мг/л. В таких случаях нужно продуть насос сжатым воздухом и определить правильную величину подачи в режиме эксплуатации насоса при выкачивании воды без песка.

В случае, если содержание песка в воде превышает рекомендуемую NGWA для водоснабжения частных домов, учреждений и промышленных предприятий норму 5 мг/л, это приводит к дополнительным расходам на техническое обслуживание трубопровода, арматуры клапанов и т.д. в связи с их износом от воздействия песка. Кроме того, необходима частая обратная промывка фильтровальной системы вследствие засорения фильтров.

Устройство для дегазации выкачиваемой из скважины воды

У некоторых скважин в воде содержится так много растворенного газа, что эта вода приобретает плохой запах или вкус. В отдельных случаях содержащийся в воде газ может даже блокировать насос. Эту проблему обычно решают установкой газовой магистрали, обходящей насос и располагаемой непосредственно под его приемным узлом. При этом магистральный трубопровод должен по возможности располагаться как можно выше. Устройство для дегазации выкачиваемой из скважины воды показано на рис. 55

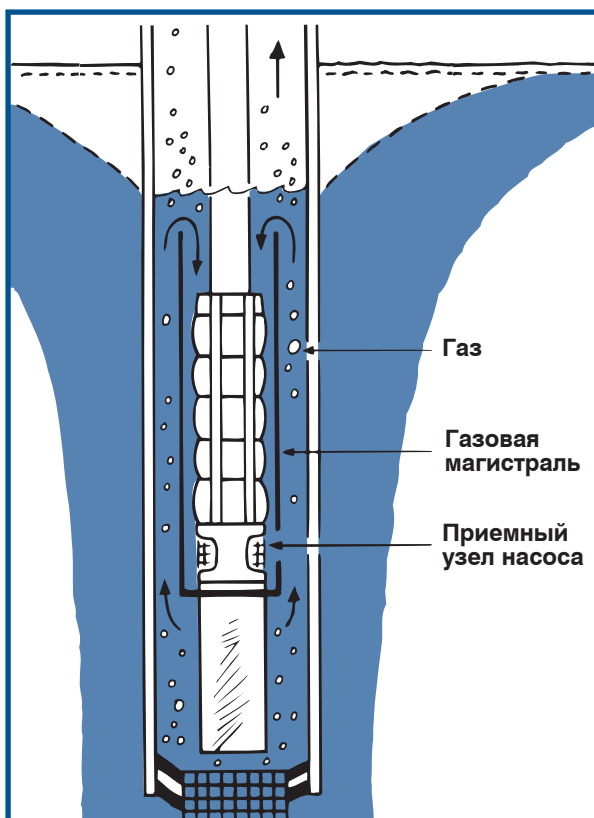


Рис. 55. Устройство для дегазации выкачиваемой из скважины воды

Создание разрежения в скважине

Если же в воде скважины содержится столько растворенного газа, что для его удаления и обеспечения требований к качеству поступающей воды недостаточно встраивания газовой магистрали, то в скважине необходимо создать разрежение. Это достигается тем, что в герметичной скважине к вентиляционной трубе присоединяют вакуумный насос. Однако прежде нужно проверить, достаточно ли для создания разрежения установки скважинной заглушки и достигается ли требуемый подпор. Схема создания разрежения в скважине с избыточным количеством газа в выкачиваемой воде показана на рис. 56.

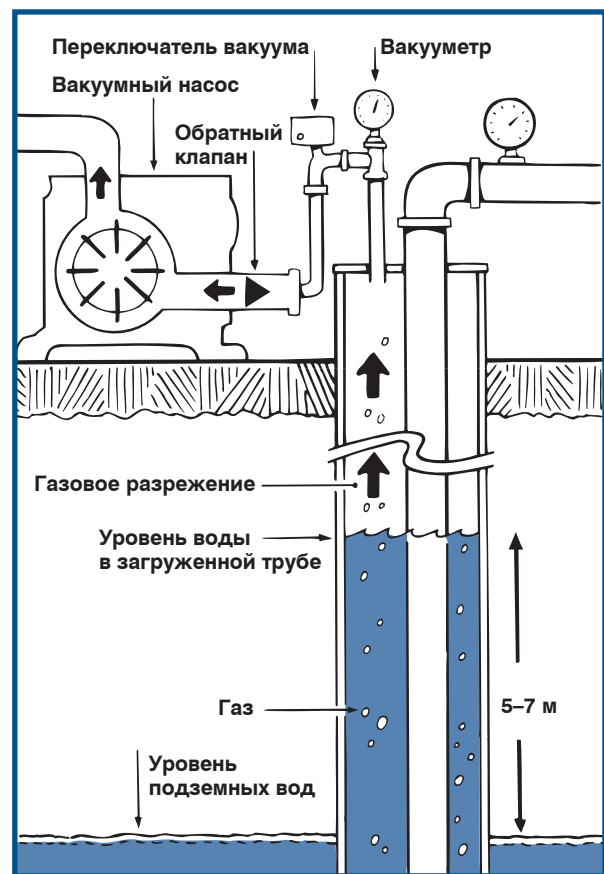


Рис. 56. Схема создания разрежения в скважине с избыточным количеством газа в выкачиваемой воде

Электродвигатели моделей MS 4000 и MS 6000 рассчитаны не более чем на 30 включений в час или на 300 включений в день при соблюдении следующих требований:

- температура воды не более 40°C;
- минимальная скорость обтекания электродвигателя потоком охлаждающей жидкости 0,15 м/с;
- соблюдение указанных на фирменной табличке параметров напряжения и мощности на всех фазах.

Если температура охлаждающей жидкости воды не превышает 40°C или электродвигатель не имеет полной нагрузки, то допустимы более частые включения, чем указано выше. При температуре воды, равной 10°C, для электродвигателя модели MS 4000 приемлемо до 100 включений в час, а для электродвигателя MS 6000 — до 60 (до 300 включений в день у обеих моделей). Однако высокая частота включения несет с собой дополнительные расходы.

1. Экономическая эффективность снижается вследствие большого количества требующих определенной мощности включений и колебаний давления (из-за многократных ускорений больших масс воды). Частые включения по сравнению с непрерывным режимом эксплуатации могут вызвать дополнительное увеличение потребления энергии до 15% и увеличить большие расходы.
2. При многочисленных пусках и отключениях защитные контакторы перегреваются и расплавляются. Кроме того, на поверхностях контакторов образуются окислы металлов, обладающие плохой электропроводностью. Это означает необходимость регулярной смены контакторов, чтобы исключить перегорание обмоток электродвигателей вследствие пониженного напряжения или асимметрии тока.
3. Уменьшаются интервалы между двумя регенерациями скважин. КПД скважины снижается, что обусловлено понижением уровня воды, увеличением окисления вследствие отложений в фильтровой трубе скважины или в гравиевой засыпке.

В качестве замены частых включений (для быстрых переключений) могут быть применены преобразователь частоты или мембранный напорный бак большей емкости, что позволяет компенсировать колебания характеристик потребления.

Когда при эксплуатации системы электроснабжения требуется выполнять большое количество переключений, для защиты электродвигателя нужно установить прибор CU 3 комплексной защиты.

С помощью этого прибора измеряют пониженное напряжение и асимметрию тока в проводах, соединяющих электродвигатель с контактором, а также осуществляют защиту от сбоев контакторов. При частых переключениях нужно, в основном, использовать электродвигатель промышленного назначения.

<p>МУП ВОДОКАНАЛ г. Салават Скважинный водозабор</p>	<p>МУП ВОДОКАНАЛ г. Северск Скважинный водозабор</p>	<p>МУП ВОДОКАНАЛ г. Дзержинск Скважинный водозабор</p>
<p>МУП ВОДОКАНАЛ г. Хабаровск Скважинный водозабор</p>	<p>БОЛЬШОЙ ТЕАТР г. Москва Пожаротушение</p>	<p>Балтийский Балкерный Терминал г. С.-Петербург Пожаротушение</p>
<p>Стекольный завод "Glaverbel" Московская обл. Скважинный водозабор</p>	<p>Завод по производству оконных профилей "ВЕКА" Московская обл. Водооборотный цикл</p>	<p>ОАО "ВОЛГОМЕТИЗ" г. Волгоград Скважинный водозабор</p>
<p>АЭРОПОРТ "ДОМОДЕДОВО" Московская обл. Пожаротушение</p>	<p>ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ г. Азнакаево Скважинный водозабор</p>	

Москва

(095) 737-30-00, 564-88-00
grundfos.moscow@grundfos.com

Санкт-Петербург

(812) 320-49-44, 320-49-39
peterburg@grundfos.com

Волгоград

(8442) 96-69-09
volgograd@grundfos.com

Екатеринбург

(343) 365-91-94, 365-87-53
ekaterinburg@grundfos.com

Иркутск

(3952) 21-17-42
grundfos@irk.ru

Казань

(8432) 91-75-26, 91-75-27
kazan@grundfos.com

Красноярск

(3912) 23-29-43
dlobincev@kras.ru

Нижний Новгород

(8312) 78-97-05, 78-97-06, 78-97-15
novgorod@grundfos.com

Новосибирск

(383) 227-13-08, 212-50-88
novosibirsk@grundfos.com

Омск

(3812) 25-66-37
omsk@grundfos.com

Пермь

(912) 881-00-88
grundfos@perm.ru

Петрозаводск

(921) 469-94-94
pds@sampo.ru

Ростов-на-Дону

(8632) 99-41-84, 48-60-99
rostov@grundfos.com

Самара

(846) 264-18-45, 332-94-65
samara@grundfos.com

Саратов

(8452) 45-96-87, 45-96-58
saratov@grundfos.com

Тюмень

(3452) 90-44-84
grundfos@tyumen.ru

Уфа

(3472) 79-97-71, 79-97-70
grundfos.ufa@grundfos.com

Минск

8 10 (37517) 233-97-69, 233-97-65
minsk@grundfos.com