

Pioneering for You

wilo

*Информация для проектировщиков и специалистов водоканалов*

## **Забор воды из скважин**

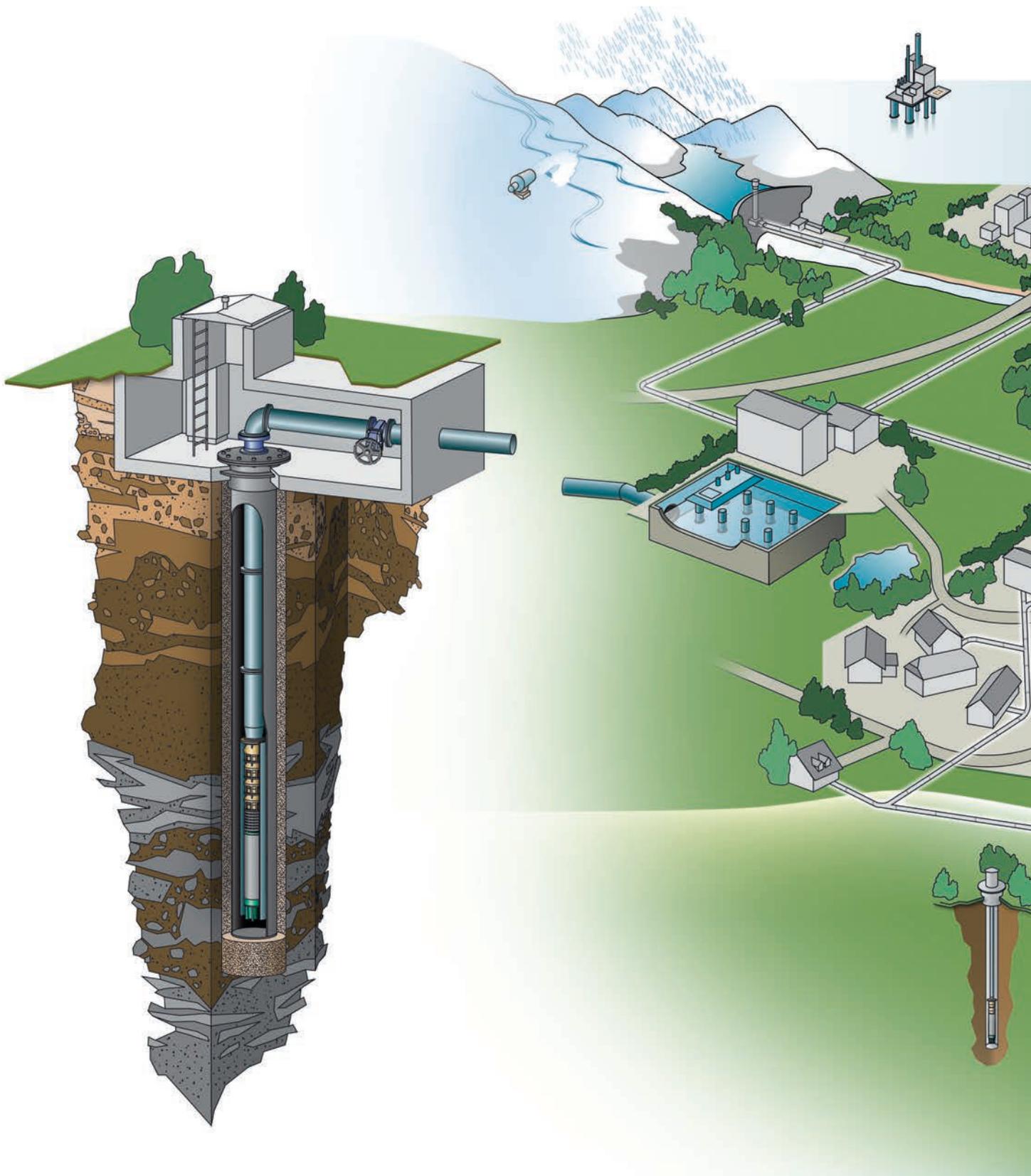
Рекомендации по проектированию.

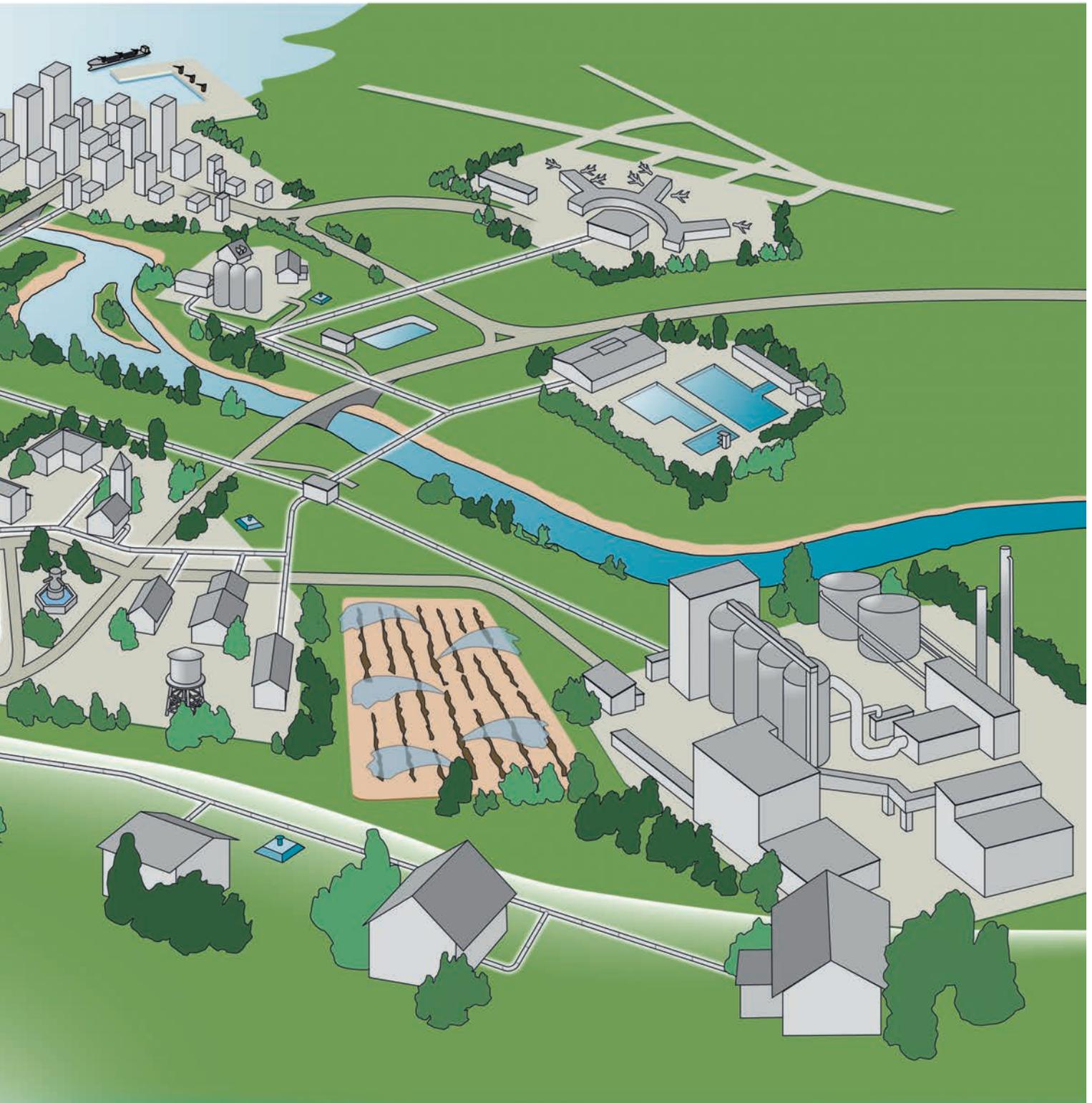


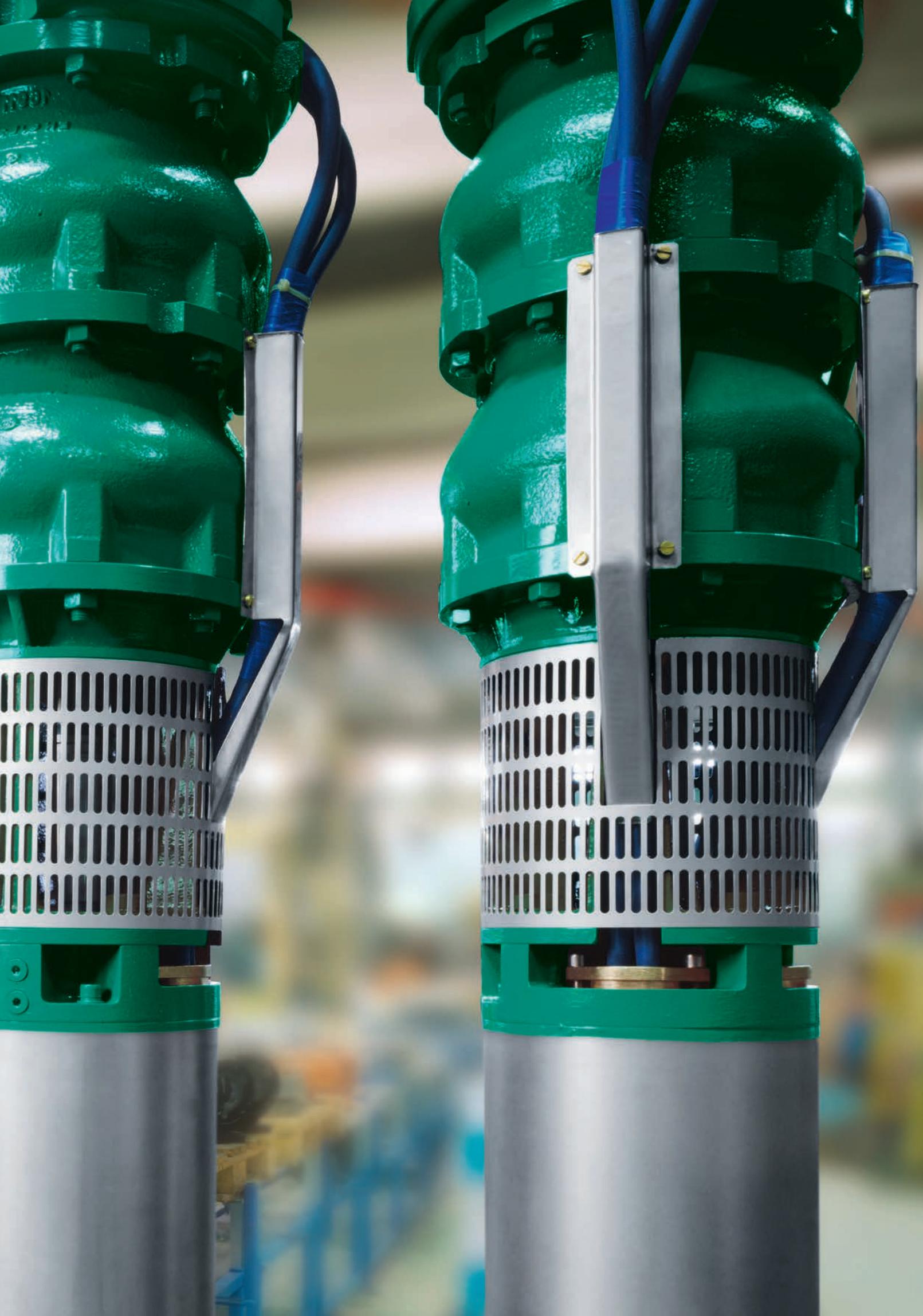
# Содержание

<b>Введение</b>	<b>7</b>
<b>Нормативно-правовая база</b>	<b>9</b>
Использование водных ресурсов	9
Вода	10
Бурение скважин	11
<b>Строительство скважин</b>	<b>13</b>
Законодательные акты и нормативные документы	13
Зоны санитарной охраны	13
Скважины	14
Бурение скважин для забора воды из источника	15
Строительство скважины	18
Процедура геофизических измерений в ходе строительства скважины	23
Техническое обслуживание скважины	24
Регенерация	25
Восстановление	27
Пломбирование / демонтаж	27
Реконструкция скважин	27
<b>Анализ состава воды</b>	<b>29</b>
Формирование разрушающих отложений	30
Твердые частицы	30
Газообразные компоненты	30
<b>Гидравлическое оборудование скважин</b>	<b>33</b>
Оборудование, устанавливаемое внутри буровой скважины	34
Оборудование, устанавливаемое снаружи буровой скважины	36
Кривые насосных характеристик	39
Расположение погружного насоса в скважине	43
<b>Конфигурация погружного насоса</b>	<b>45</b>
Конструкция	46
Покрытия	49

<b>Основные электротехнические решения</b>	<b>51</b>
Электрические системы	52
Однофазный двигатель переменного тока (конденсаторный асинхронный двигатель)	57
Трехфазные асинхронные двигатели	58
Определение защиты и выбор кабеля	65
Технология управления	75
Особенности работы с устройствами плавного пуска или преобразователями частоты	81
<b>Подготовка к закупке погружного насоса</b>	<b>85</b>
Выбор материала	85
Гидравлическая конфигурация	86
Скорость потока	87
Максимальный диаметр скважины при работе без охлаждающего кожуха	88
Влияние регулирования на требуемую скорость потока	89
Проверка мощности	90
Сечение кабеля	91
<b>Вопросы потенциального снижения потребления электроэнергии для погружного насоса</b>	<b>93</b>
Оценка затрат полного срока эксплуатации погружных насосов для использования в буровых скважинах	94
<b>Установка и ввод в эксплуатацию погружных насосов</b>	<b>103</b>
Рекомендуемые меры по устранению неисправностей	104
Инструкции по хранению насоса	104
Замечания по установке	105
<b>Ссылка на первоисточник</b>	<b>107</b>
<b>Информация об авторских правах</b>	<b>107</b>







## Введение

В Германии на 83 миллиона человек приходится около 10 миллионов кубометров ежедневного потребления питьевой воды. В тоже время, общее потребление воды составляет приблизительно 5000 литров на душу населения, а это приблизительно в 40 раз больше, чем мы используем в быту.

Это огромное количество воды используется для производства товаров, в которых мы нуждаемся в повседневной жизни. Например, для производства одного автомобиля требуется около 40 000 литров воды, а для одного персонального компьютера – 20 000 литров. Таким образом, потребление воды в Германии составляет 150 000 миллионов кубометров в год.

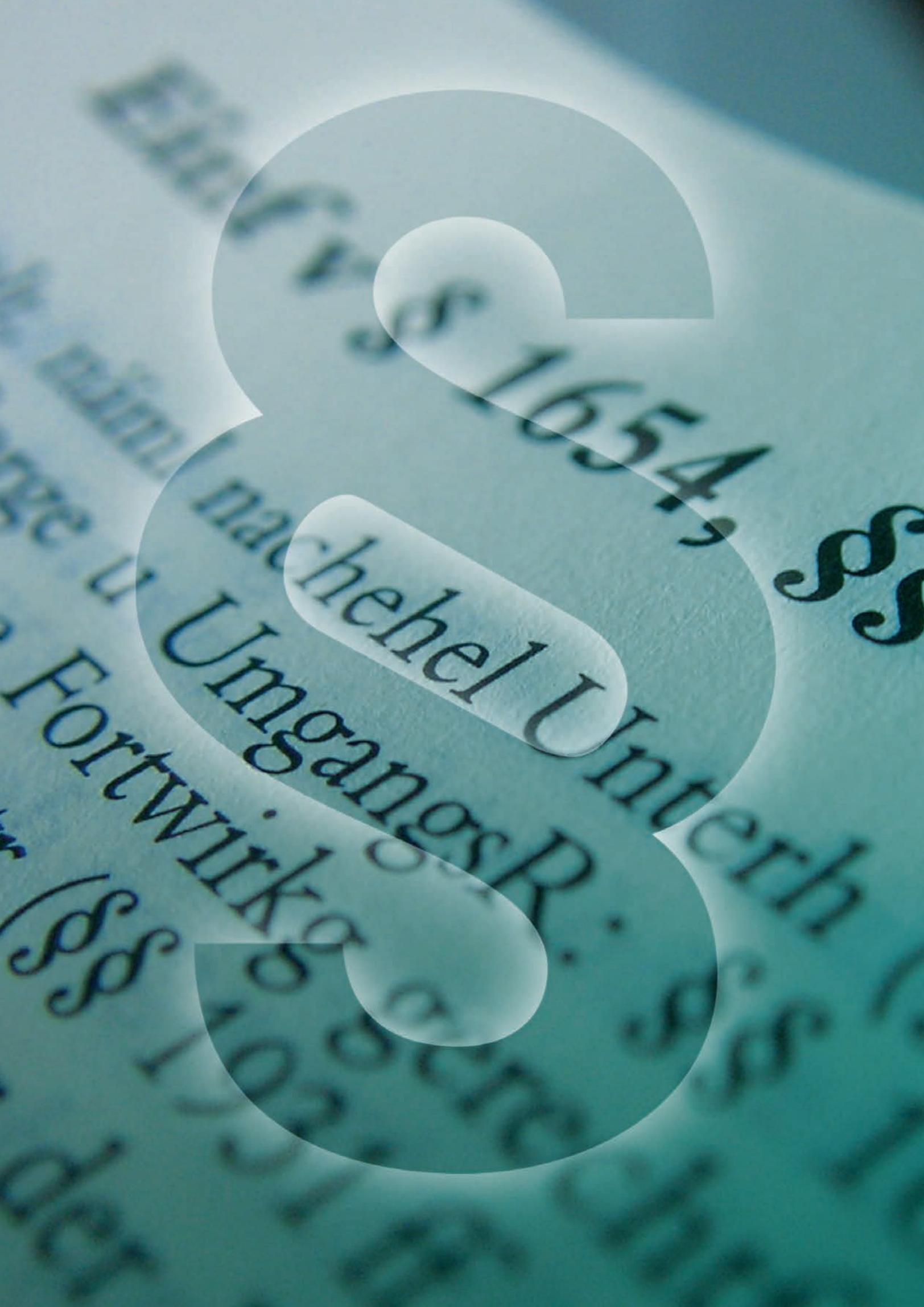
Большая часть этой воды берется из скважин, эксплуатационные расходы на которые могут намного превзойти величину начальных инвестиций.

Затраты на закладку и эксплуатацию скважин составляют большую часть общей стоимости водоснабжения. Следовательно, всестороннее знание зависимостей между гидрогеологией, характеристиками воды, вариантами конструкции, конструкционными материалами, монтажными работами, зависимостями потока в скважине и мерами по освоению скважины является фактором, который столь же важен, как и эксплуатация скважины.

Можно получить большую экономию, если гарантировать, что скважина работает в оптимальном режиме, с использованием правильно подобранного погружного насоса, с правильно согласованными рабочими условиями и выполнением соответствующих мер по поддержанию состояния скважины.

Неправильный подбор оборудования и плохая эксплуатация скважины приводят к высоким эксплуатационным расходам, которых владельцы скважин могут избежать за счет комплексного планирования и управления.

Настоящие рекомендации предлагают полезные советы, способные помочь в выборе и эксплуатации скважины.



1654  
Umgangos  
Intereth  
Fortwirkka

nachehel U

# Нормативно–правовая база

Питьевая вода – основа для всех пищевых продуктов и напитков. Они прямо или косвенно содержат питьевую воду.

Вода также используется в бытовых условиях для различных целей, таких как стирка одежды, принятие душа и т.д. Основные требования к питьевой воде – гигиеничность и чистота, а также то, что называется «чистый и приятный вкус». Эти основные требования перечислены в Хартии Боннера по безопасности питьевой воды и были включены в руководящие принципы Всемирной организации здравоохранения 2004 г. Чтобы гарантировать соответствие этим основным требованиям, комплексные нормативы были установлены на международном, европейском и национальном уровнях.

Международный экологический закон регулирует любые споры, которые могут возникнуть относительно общей защиты водных объектов. Кроме того, Хельсинское Соглашение и Международное Соглашение Осло–Париж регулируют различные аспекты, касающиеся защиты водных объектов и питьевой воды.

Что касается Германии, то самые важные установленные законом нормативы по защите грунтовых вод и снабжению питьевой водой – Закон о рациональном водопользовании (WHG 2002, 7-я поправка), Нормативы по грунтовым водам (GrwV 1979) и Нормативы по питьевой воде (TrinkwV 2001). Поскольку за выполнение этих нормативов ответственны отдельные земли (административные единицы) Германии, они могут предписывать собственные условия по их выполнению.

## Использование водных ресурсов

С 2000 г. введена в действие европейская Директива по созданию регулирующей структуры в отношении мер, воздействующих на сообщество касательно политики водопользования, сокращенно Рамочная директива по водной среде. В Германии она введена в действие в соответствии с 7-й поправкой к Закону о водопользовании (WHG).

Использование водных ресурсов и водоснабжение – важные компоненты защиты окружающей среды. Стандарт DIN 4049 описывает использование водных ресурсов как систематическую организацию всей человеческой деятельности, которая влияет на воду как наземных, так и подземных источников. Это включает защиту воды от последствий человеческой деятельности, защиту населения от некачественной воды, безопасность источников воды и изучение последствий, возникающих при водопользовании. Компании по водоснабжению обязаны поставлять воду при достаточном давлении, чтобы гарантировать качественный охват водоснабжением областей, в которых они являются ответственными за поставку воды. Это определено в нормативах «Общие условия по водоснабжению» (AVBWasserV). Загрязнение водных объектов регулируется не только Законом о водопользовании, но также и в соответствии с Директивой ЕС 2004/35/ЕС (Ответственность за загрязнение окружающей среды с целью предотвращения загрязнений и восстановления окружающей среды), которая внедрена в Германии Законом о загрязнении окружающей среды (UsschadG).

## Вода

### Качество воды

В Германии требования к качеству питьевой воды (TW) определены Нормативами по питьевой воде (TrinkwV 2001).

Эти нормативы внедряют в национальное законодательство Директиву ЕС по питьевой воде 1998 г. (98/83/ЕС).

Предельные величины и требования в TrinkwV 2001 разделены на следующие категории:

- Общие требования (§ 4)
- Микробиологические требования (§ 5 и Приложение 1)
- Химические требования (§ 6 и Приложение 2)
- Индикативные параметры (§ 7 и Приложение 3).

Кроме того, в отношении очистки питьевой воды в Германии должны выполняться требования Перечня добавок для очистки, изданного Министерством по вопросам окружающей среды, и процедур дезинфекции в соответствии с § 11 2001 TrinkwV.

Также в дополнение к TrinkwV 2001 применимы различные технические условия стандарта DIN. Они включают:

- DIN 2000 (Централизованное питьевое водоснабжение)
- DIN 2001 (Директивы по индивидуальному водоснабжению)
- DIN 4046 (Технические издания, определения и терминология по водоснабжению).

### Анализ воды

Нормативы по питьевой воде (TrinkwV 2001) определяют обязанности компаний по водоснабжению и контролирующим органов. Они включают технические условия, в соответствии с которыми должны быть проверены микробиологические и химические параметры, и проведены контрольные проверки питьевой воды. В соответствии с требованиями Директивы ЕС по питьевой воде каждые три года все государства-члены ЕС должны представлять отчет по питьевой воде.

Единая общегерманская методика в отношении анализа воды, сточных вод и отстаиваемых вод /DEV регулирует анализ питьевой воды в Германии с использованием физических, химических, биологических и бактериологических процедур. Анализ питьевой воды может быть выполнен только лабораториями, которые были одобрены согласно соответствующему информационному листу DVGW W261.

В Германии также применимы стандарты Trinkwasserverordnung 2001 (нормативы по питьевой воде) и правила DVGW (Немецкий союз специалистов водо- и газоснабжения). Эти стандарты являются официальными директивами для областей применения, использования, установки, обеспечения безопасности и обслуживания. Они не имеют установленной законом силы, но помогают в интерпретации юридических положений.

## Бурение скважин

К бурению скважин применимы различные стандарты EN, ISO и DIN, а также различные нормативы, выпущенные DVGW и VDI/VDE.

Их диапазон варьируется от стандарта DIN 18300, предназначенного для классификации типов грунтов, вплоть до различных инструкций для фильтровых труб (DIN 4922, DIN 4925, DIN 4935, DIN EN ISO 1127 и т.д.) и фильтрующего песка (DIN 4924). Нормативы DVGW (признанные технические правила) включают, среди прочего, руководства для областей, в которых применяется охрана питьевой воды (W100–W102), взятие проб (W112), правила по созданию, бурению и разработке скважин, правило по определению дебета источника (W115–130).

### Погружные насосы

Центробежные и погружные насосы можно разделить в зависимости от конкретной области применения (ISO DIN 9905, DIN EN ISO 5199, ISO DIN 9908). Определение общей терминологии для насосов и насосных систем приведено в DIN EN 12723. Также можно сделать ссылку на стандарт DIN EN 13386 в отношении особых аспектов безопасности погружных насосов и насосных установок.

Этот стандарт также позволяет определять различные конструкции насосов, которые используются для подачи воды из глубоких и горизонтальных скважин.

Центробежные насосы: основная характеристика – передача энергии за счет динамического взаимодействия потока перекачиваемой жидкости и лопастей вращающегося колеса.

Это отличает такие насосы от поршневых насосов, работающих по принципу вытеснения, где, например, ход приводит к сжатию и выпуску объема воды.

Погружные насосы: под этим термином

подразумеваются центробежные насосы, гидравлическая часть которых (корпус насоса) погружена в перекачиваемую жидкость. Двигатель может быть стандартным, защищенным от погружения в жидкость, либо погружным.

Погружные насосы с приводом от погружного двигателя: этот тип насоса также относится к центробежному насосу, который полностью погружен в перекачиваемую жидкость. Если перекачиваемой жидкостью является питьевая вода, он также называется погружным насосом (называемым ниже U-насос). Они часто используются в глубоких скважинах. В отличие от насосов с приводом от вала устанавливаемых в колодце их преимуществом является то, что они могут без проблем использоваться даже на больших глубинах.

Для узлов установки, которые входят в контакт с водой, используемые краски, материалы конструкции, уплотнения и т.д. не должны оказывать вредное воздействие на характеристики воды.



# Строительство скважин

## Законодательные акты и нормативные документы

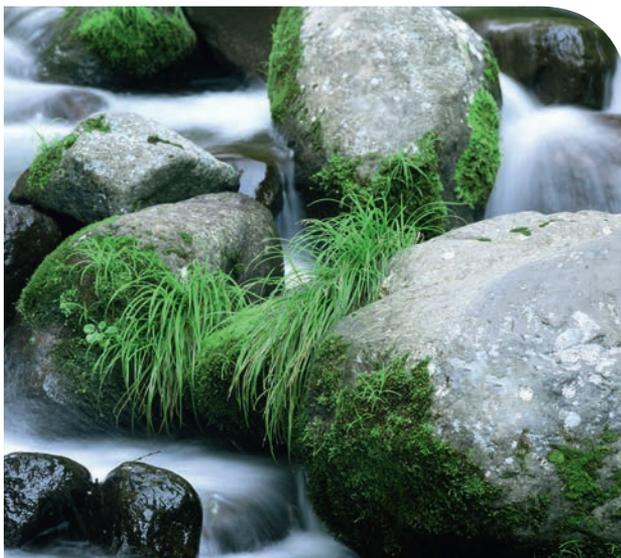
При подключении к магистральным водоводам должны выполняться региональное водное законодательство и Закон о водопользовании. Это, в частности, применяется к отбору поверхностных вод и грунтовых вод. Как правило, устанавливаются условия на получение права использования водных объектов. Закон о водопользовании требует, чтобы вода использовалась для пользы всего общества. В зоне санитарной охраны определенная деятельность запрещена или ограничена с целью охраны водных объектов. Контроль качества питьевой воды регулируется нормативами на питьевую воду. Правила централизованного снабжения питьевой водой, бурения скважин, их эксплуатации, проверки и контроля приведены в DIN 2000.

## Зоны санитарной охраны

Немецкий федеральный Закон о водопользовании (WHG) и соответствующее региональное водное законодательство являются основой для охраны подземных вод и стока водосбора. Поэтому весь забор воды из источников подлежит согласованию с соответствующими регулирующими органами. Поверхностные и подземные источники водоснабжения должны обеспечивать население водой и поэтому должны предусматривать соответствующие зоны санитарной охраны. Эти зоны должны быть легко определены и отражены на картах местности.

### Определение местонахождения для зон санитарной охраны

Когда зона санитарной охраны определена, в водоохранные органы подается заявление. После его регистрации в Министерстве здравоохранения, Министерстве по управлению водными ресурсами, Геологическом комитете, в органах местной власти в тех регионах, которые имеют отношение к данной



Забор воды из скважин

зоне, и других государственных инстанциях, которые имеют отношение к данному вопросу, и получения их разрешений информация о намерениях должна быть опубликована.

### Правила для санитарных зон

Водоохранное законодательство разделяет границы водоохранных областей на три зоны: область забора воды (зона I), внутренняя защитная зона (зона II) и внешняя защитная зона (зона III).

Зона I является областью вокруг места забора воды и подлежит защите от загрязнения, чтобы качество воды не подвергалось опасности. Таким образом, в пределах этой области запрещены пешие прогулки или использование химических продуктов любого вида.

Зона II должна иметь размер, примерно соответствующий площади, с которой спустя приблизительно 50 дней грунтовые воды достигают места водозабора, что примерно равно длительности жизни большинства болезнетворных организмов. В пределах этой области запрещено возведение зданий, чтобы биологические загрязняющие вещества не проникли сквозь покрывающие породы. Для четкого указания этой зоны должны быть установлены специальные уведомляющие знаки.

Зона III, водосборная площадь для водозабора, должна быть защищена от устойчивого загрязнения грунтовых вод, от биологических и химических воздействий. Здесь должны быть запрещены все виды строительных работ. Поэтому важно, чтобы все эти зоны были отмечены на карте территории.

### Проверка и обслуживание зон санитарной охраны

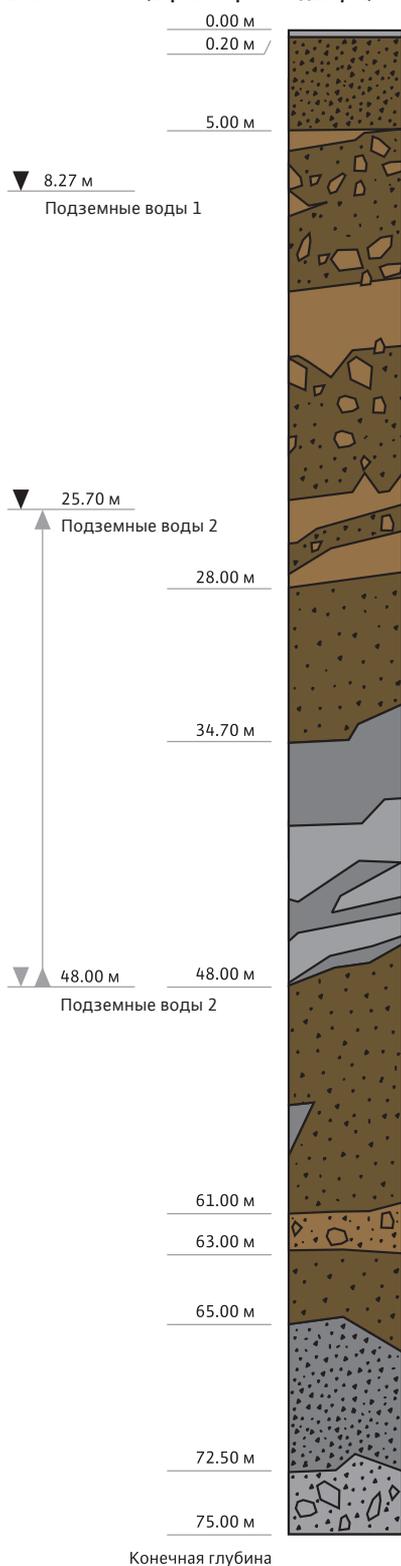
Водосборная площадь должна регулярно проверяться на наличие различных изменений. Особенно важно проводить проверку перед и после зимнего сезона, после экстремальных погодных условий, в ходе строительных работ и во время применения удобрений. В ходе каждой проверки следует особо тщательно осматривать область забора воды. Именно здесь возникает большинство причин нарушения требований к качеству воды. Любые строительные работы и действия, связанные с применением механизмов, могут приводить к загрязнениям. Поэтому разрешается использовать для этого только соответствующие материалы. Кроме того, важно регулярно выполнять работы по обслуживанию области забора воды, например, нужно косить здесь траву, заполнять ямы гумусом и укреплять склоны.

## Скважины

Существует огромное разнообразие обозначений для определения категории скважин согласно конкретным критериям, таким как тип создания (шахта, буровая скважина и т.д.), размер (вырытая скважина), конструкция (трубчатый колодец) и тип забора воды из источника (глубокие скважины).

### Профиль ствола скважины

Начальная точка GOK (верхний край ландшафта)



Скважина – это искусственно созданная конструкция для водоснабжения (забора, сбора, перекачивания, контроля, вытекания, фильтрования или повторной закачки) подземной воды. Скважины подразделяются:

#### По пространственному положению:

наклонная скважина, вертикальная скважина, горизонтальная скважина.

#### Глубине:

мелкая скважина, глубокая скважина, очень глубокая скважина.

#### Глубине, на которой находится уровень воды, или давлению артезианской скважины:

скважина с избыточным давлением в верхней приемной площадке, поверхностная скважина (скважина с надводным устьем), глубоко залегающая скважина.

#### Типу создания:

шахтная скважина, буровая скважина, забивная скважина, абиссинский колодец, дренажная скважина с фильтром.

#### Материалу конструкции:

трубчатая скважина, скважина, закрепленная кирпичной или каменной кладкой.

#### Конструкции трубы для подачи грунтовой воды:

скважина с гравийным заполнителем, скважина с фильтром из слоя гравия, скважина с тканевым фильтром, совершенная скважина, несовершенная скважина, бесфильтровая скважина.

#### Типу подачи воды:

скважина, оборудованная насосом, шатный колодец, водоприемный колодец насоса, обыкновенный колодец.

#### Целевому использованию:

скважина питьевой воды, транспортная скважина, водопонижающая скважина, скважина водостока, скважина-водоисточник, контрольная скважина, защитная скважина, скважина для ремонтно-восстановительных работ, скважина вертикального дренажа.

В настоящее время подавляющая часть грунтовой воды извлекается вертикальными скважинами с фильтрацией. Другие типы забора воды, например, горизонтальные скважины с фильтрацией и шахтные скважины, играют в водоснабжении второстепенную роль.

#### Вертикальные скважины с фильтрацией подразделяются:

##### По глубине:

- поверхностные скважины,
- глубокие скважины.

##### Глубине, на которой находится уровень воды:

- поверхностная скважина в режиме всасывания,
- глубокая скважина с U (погружными) насосами.

##### Типу конструкции:

- скважина с обсадной трубой,
- скважина с засыпкой гравием,
- скважина с неработающей облицовкой,
- скважина с 2 частями засыпки гравием, с дифференцированием по глубине,
- фильтрующая скважина без гравия в скальной породе.

##### Положению трубы в скважине для подачи грунтовой воды:

- совершенная скважина,
- несовершенная скважина.

##### Целевому использованию:

- скважина для питьевой воды,
- скважина для технической воды,
- водопонижающая скважина,
- противопожарная скважина,
- ирригационная скважина,
- контрольная скважина, точка измерения грунтовых вод,
- скважина для ремонтно-восстановительных работ,
- скважина вертикального дренажа или инфильтрационная скважина.

Все типы скважин определяются по их конструкции и условиям эксплуатации.

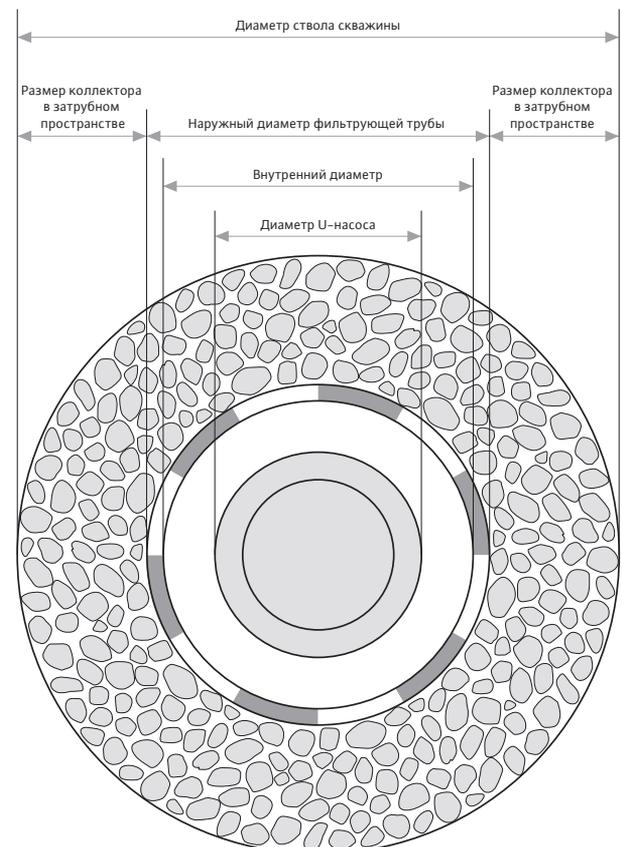
## Бурение скважин для забора воды из источника

### Задание размеров ствола скважины

Если геологические данные в грунте, в котором предстоит бурение, еще неизвестны, должно быть выполнено пробное бурение. Геофизические измерения позволяют оценить, в каком месте бурение скважины обеспечит наилучший приток воды.

Размер скважины зависит от количества воды, которое можно получить (дебит) и гидрогеологических условий, то есть гранулометрического состава, положения и толщины соответствующего водоносного пласта грунтовой воды. Толщину водоносного пласта грунтовой воды следует использовать в максимально возможной степени, так как первоначальный объемный расход соответствует длине сечения фильтра. Несколько дополнительных метров бурения и строительства скважины часто могут привести к существенному увеличению дебита скважины. Дополнительные 20% затрат могут привести к увеличению производительности на 100%!

### Диаметр скважины





**Буровые коронки**  
Источник: E+M Bohr GmbH



**Скважинное оборудование**  
Источник: E+M Bohr GmbH

Диаметр водопроводной трубы определяется диаметром напорного патрубка насоса. Внутренний диаметр скважины должен быть достаточным для того, чтобы обеспечить надежное размещение заполнителя из гравия в пределах кольцевого пространства. Это достигается при размерах кольцевого пространства 80–100 мм. Слишком большие размеры кольцевого пространства затрудняют работу по удалению песка, так как стенка ствола буровой скважины находится слишком далеко от фильтрующих труб. Полные данные относительно калибровки буровой скважины приведены в рабочем стандарте DVGW W 118.

#### **Типы пород**

Процедура и ход процесса бурения, а также разрез по скважине в целом зависят от типа породы, ее твердости, структуры, расслоения, направления течений воды и ее поведения относительно системы трубопроводов. Типы породы можно классифицировать по различным уровням сложности / рабочим характеристикам бурения (BW). Они варьируют от мягкого грунта до скальной породы и высокотвердой скальной породы. Существует в общей сложности шесть групп пород.

#### **Скважинное оборудование**

Перед бурением скважины должны быть сделаны определенные регулировки, такие как настройка платформы для бурения и выбор соответствующего подсоединения к приводу. В каждом случае следует принять меры для того, чтобы выполнение работ при бурении не загрязняло грунтовые воды. Все запасные части, которые непосредственно не требуются при бурении скважины, должны быть убраны подальше от буровой головки, чтобы они не оказывали неблагоприятного воздействия на процесс.

#### **Ось и поперечное сечение ствола скважины**

Чтобы избежать проблем во время вставки и удаления буровой трубы, обсадной трубы и т.д., важно, чтобы ось ствола скважины была действительно вертикальной, а сечение ствола скважины – действительно круглым. Чем глубже буровая скважина и чем меньше диаметр, тем сильнее сказываются последствия отклонения от вертикальности.

Процедура бурения	
Процедура	Описание
Процедура сухого бурения	Чтобы разрушить породу до рыхлого состояния, применяются ударные процессы и процессы бурения. Процедура сухого бурения – это ударный процесс. Чтобы разбить скальную породу, могут использоваться плоские долота или втулки толчкового действия. Для удаления породы из отверстия в области землеройных работ используются гильзы клапанов, шнековые буры или скребковый разгрузчик. В отличие от процедуры бурения с промывкой, при которой буровая скважина стабилизируется за счет избыточного давления, данная процедура для стабилизации не требует системы трубопроводов. Процесс бурения не основан на применении жидкости для промывки скважины, но воду следует всегда заливать в отверстие так, чтобы буровая скважина не оставалась сухой, а высвобожденный материал транспортировался вверх как буровая мука через гильзы клапанов. Для облегчения вытягивания буровых труб необходим частый отвод инструмента, формирующего диаметр скважины. Это должно быть учтено при разработке программы бурения. Чем больше диаметр скважины и больше содержание глины в слоях, тем чаще должен происходить такой отвод. Кроме того, следует учитывать, что и крепление труб друг к другу заклепками или сваркой, и сами стенки труб за счет своей толщины, должны выдерживать высокие напряжения, возникающие в процессе бурения. Недостатком сухого бурения глубоких скважин является длительное время, требуемое для этого процесса.
Ударное бурение	Этот процесс бурения использует бурильные инструменты ударного действия, которые разбивают породу в основании буровой скважины. Удар осуществляется за счет падения под действием силы тяжести или за счет использования приводов.
Процесс ударно-вращательного пневматического бурения	Для очень твердых скальных пород используется процесс ударно-вращательного пневматического бурения. При этом ударное буровое долото, оснащенное наконечником из твердого сплава, приводится в действие сжатым воздухом, что позволяет разрушать крупные части породы на такие, которые можно транспортировать вверх, где происходит оценка образцов породы. Вода в буровой скважине возмущается потоком воздуха, идущим вверх, так, чтобы мелкозернистый песок не перемещался с породой наверх.
Процесс бурения с промыванием	Процесс бурения с промыванием ослабляет прочность слоев породы внизу скважины с помощью долота с лопастной крыльчаткой или роликового долота, прикрепленного к бурильной оправке. Вращательное действие создается на поверхности за счет ротора или вращательной головки с приводом и передается к бурильной оправке. Обломочный материал при бурении удаляется непрерывным введением промывочной жидкости, использование которой исключает потребность системы в трубопроводах, так как стенка ствола буровой скважины стабилизирована внутренним избыточным давлением.
Процесс вращательного бурения	Процесс вращательного бурения включает в себя процессы вращения и левостороннее вымывание обломочного материала жидкостью при бурении. Чтобы предотвратить превышение давления и последующий отток промывочной жидкости в направлении рабочей поверхности, в жидкость добавляются промывочные присадки. Они делают промывочную жидкость более плотной и более вязкой, затем она перекачивается вниз по системе трубопроводов для транспортировки бурового шлама в пределах кольцевого пространства между системой трубопроводов и стенкой ствола буровой скважины.
Процесс левостороннего вымывания	Процессы, являющиеся частью левостороннего вымывания (нисходящая промывка в пределах кольцевого пространства между стенками трубопроводов/буровой скважины и восходящая промывка внутри трубопровода с использованием насосов или сжатого воздуха по принципу эрлифтного насоса для выноса выбуренного шлама по внутренней трубе): бурение с использованием роликовых долот, буров для мягких пород, погружных пневматических молотков (со сжатым воздухом в качестве привода и среды для промывания), бурильных головок, т. е. с использованием роторного стола, бурильной головки с приводом (привод от гидро- или пневмосистем).
Процесс бурения с всасыванием	В этом процессе используется всасывающий насос для подачи промывочной жидкости и грунта, изъятых при бурении к поверхности через систему трубопроводов. Так как высота всасывания насоса невелика, то в зависимости от диаметра системы трубопроводов могут быть достигнуты только ограниченные глубины бурения.
Эрлифтный процесс	В эрлифтном процессе промывочная жидкость извлекается эрлифтным насосом, который имеет выход у основания системы бурильных труб. Следует обязательно принять меры, чтобы не загрязнить промывочную жидкость. Для этого процесса, чем глубже выполнена установка, тем выше рабочие характеристики, поэтому время от времени точку выхода следует перемещать вниз. Промывочная жидкость и грунт, изъятый при бурении, подаются к поверхности через систему трубопроводов и остаются для осаждения в промывочных баках или отстойниках. Промывочная жидкость стекает назад внутри кольцевого пространства между стенкой ствола буровой скважины и системой трубопроводов.
Процесс колонкового бурения	Процесс колонкового бурения дает информацию о развитии пустот и отложениях каменных пород. В этом процессе режущие инструменты, установленные на полой цилиндрической или основной трубе, вращаются с помощью ротора, а буровой шлам вымывается промывочной жидкостью. В конце процесса основная труба с образцами каменных пород вытягивается наружу.

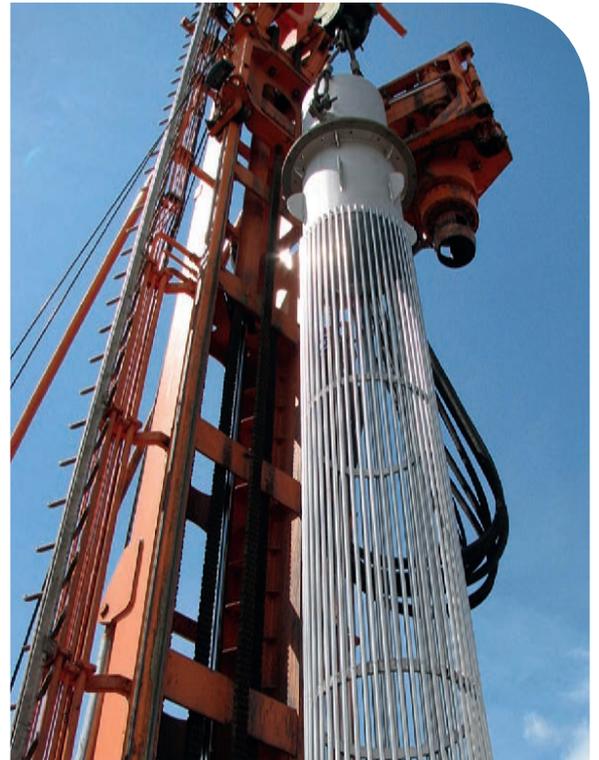
*Процессы сухого бурения и бурения с промывкой включены в состав обычных технологий бурения скважин.*

## Строительство скважин

### Фильтрующая труба

Исходя из соображений безопасности, скважины для водоснабжения обязательно должны быть оснащены фильтрующими трубами для предотвращения повреждений по причине осыпания или вспучивания грунта и т.д. Фильтрующие трубы для гарантии эффективности их работы не должны содержать песка и химических материалов.

Кроме того, фильтрующая труба должна иметь максимально возможное количество малых отверстий с равномерными промежутками между ними для поддержания фильтрующего сопротивления на соответствующем низком уровне. Также следует учитывать боковые силы, которые могут воздействовать на фильтрующую трубу, а труба должна иметь соответствующую прочность, чтобы противостоять этим силам.



Фильтрующая труба, набранная из стержней  
Источник: E+M Bohr GmbH

Фильтрующие трубы	Описание
Сталь рильсан	<p>Благодаря своей механической прочности, конструкция фильтрующей трубы с перфорацией типа «мостик» является наиболее часто используемой. Размер прохода через наружную боковую поверхность фильтра определяется шириной щели, размерами отверстия «мостиков» и длиной щели, а ширина щели труб фильтра определяется величиной зернистости гравия для фильтров. Гравий не должен проходить через отверстия во внутреннюю часть фильтрующей трубы или блокировать отверстия.</p> <p>Патрубки, присоединяемые к фильтрующей трубе, должны выдерживать все рабочие напряжения и не уменьшать внутреннее сечение фильтрующей трубы, а также значительно выходить за пределы внешнего диаметра. Соединение с резьбой полукруглого профиля и соединение типа ZSM (стойкие к вытягиванию вставные втулки) имеют высокую прочность. Если фильтрующие трубы имеют защиту от коррозии, все соединения также должны иметь защиту от коррозии, а трубы должны вкручиваться на полный ход резьбы. Фланцевые соединения или соединения со стыковой накладкой в Германии используются редко. Фланцы должны выступать далеко внутрь камеры с фильтрующим гравием. DIN 4922 определяет, что материалом, используемым для фильтрующих труб, должна быть сталь 37-2. Кроме того, для защиты от коррозии предлагается использование различных материалов, таких как необработанная сталь (rh), оцинкованная сталь (zn), стальные трубы с битумным покрытием (bt), с пластиковым покрытием (kv) и обрезиненные (g).</p> <p>Гальваническое покрытие, битумная изоляция и горячая эмалировка обеспечивают только краткосрочную защиту. Последняя легко повреждается в процессе строительства скважины.</p>
Пластик	<p>Патрубки, присоединяемые к фильтрующей трубе, должны выдерживать все рабочие напряжения и не должны уменьшать внутреннее сечение фильтрующей трубы, а также значительно выходить за пределы внешнего диаметра.</p>
VA	<p>Специальные свойства фильтрующих труб из нержавеющей и коррозионно-стойкой стали состоят в том, что они не требуют никакой дополнительной защиты от коррозии. Однако эти трубы должны быть протравлены и пассивированы. Большинство используемых фильтрующих труб имеют перфорацию типа «мостик» и обмотку из проволоки. На фильтры из обмоточной проволоки наваривается несущая профилированная проволока. Они обеспечивают высокую пропускную способность для воды и могут быть легко развернуты при демонтаже.</p>

### Трубы со сплошной стенкой

Трубы со сплошной стенкой изготавливаются из тех же материалов и с теми же соединениями, как и фильтрующие трубы. Самое важное требование для насадочных труб – обеспечение плотных стыковых соединений. В частности, при заказе пластмассовых труб с резьбой следует заказать также специальные уплотнительные кольца. Самым легким является монтаж с использованием вставных соединений, известных как ZSM соединения. Они включают в себя необходимые уплотнительные кольца, при сборке они просто вставляются друг в друга нажатием и фиксируются для достижения прочности на растяжение с использованием срезных штифтов. Чтобы избежать высоких материальных затрат при использовании нержавеющей стали, фильтры из витой проволоки из нержавеющей стали могут комбинироваться с насадными трубами из поливинилхлорида.

### Гравий для фильтров

Чтобы определить соответствующий размер зерен гравия для фильтров, необходимо получить репрезентативные буровые пробы. Выполняется оценка буровых проб соответствующего водоносного пласта с грунтовой водой, и наименее благоприятная проба используется для ситового анализа.

Качество определения размера гравия для фильтров зависит от качества выполнения буровых проб.

Предпочтительными всегда являются керновые пробы. В документе W119 MB DVGW предлагается легко прослеживаемая процедура для определения гранулометрических характеристик гравия для фильтров. Неопределенности, связанные со взятием пробы и определением гравия для фильтров, к сожалению, всегда приводят к определению заполнения, исходя из требований безопасности, чтобы избежать риска уноса песка. К сожалению, это приводит к излишне высокому входному сопротивлению и мешает мерам по очистке от песка. В случае возникновения сомнений всегда обращайтесь за советом к опытному специалисту. Песок и гравий для фильтра стандартизованы в соответствии с DIN 2914 и могут содержать зерна увеличенного и уменьшенного размера только в ограниченных пределах. Гравий для фильтров должен обеспечивать решение следующих задач:

- не позволять проходить малым частичкам песка;
- поддерживать зернистую структуру позади стенки ствола буровой скважины;
- действовать как опора между фильтром и стенкой ствола буровой скважины.

Чрезмерно большое кольцевое пространство препятствует эффективному удалению песка, так как стенка ствола буровой скважины находится слишком далеко от фильтрующей трубы. Поэтому не следует превышать размер кольцевого пространства в диапазоне 80–150 мм.

По той же самой причине нецелесообразно использовать дважды засыпаемый гравий (из 2 частей). Лучше соответственно увеличить диаметр фильтрующей трубы. Гравий для фильтров следует засыпать, используя трубу для засыпки. Это гарантирует плотную укладку гравия и перемещение вверх всей остающейся промывочной жидкости / воды



Установка трубы со сплошной стенкой  
Источник: OCHS Bohrgesellschaft mbH



Гравий для фильтров



Стеклянные шарики

из буровой скважины. Промывание водой гравия приводит к удалению грязи из буровой скважины!

В настоящее время вместо гравия для фильтров часто используются стеклянные шары. Их большим преимуществом является однородность и гладкая поверхность. Во время удаления песка они позволяют легче проходить малоразмерным частицам и предотвращают быстрое накопление отложений окиси железа в заполнении ствола. Кроме того, они более подвижны благодаря меньшему трению, что облегчает удаление песка и выполнение мер по регенерации скважины. Если заполнение определено неправильно, они «прощают» неправильный выбор размера частиц, но не ошибки при выполнении заполнения в целом!

#### Обсадная труба/герметизация

Герметизация кольцевого пространства выше заполнения скважины предназначена для предотвращения обмена различных водоносных пластов с грунтовой водой.

Для этого используются заполняемые глиной формы и спрессованные суспензии. Последний вариант может обеспечивать надежную герметизацию для нерегулярных и глубоких кольцевых пространств. Однако для этого необходимо устройство для обеспечения объемного сжатия в большом пространстве, и имеется большая вероятность появления различных погрешностей при смешивании и применении суспензий.

Поэтому предпочтительны засыпаемые уплотнения при условии, что они могут применяться с должной надежностью на соответствующей глубине. Они имеют более высокое исходное напряжение от воздействия давления, значительно легче и менее опасны при монтаже. Кроме того, они не требуют времени на схватывание.

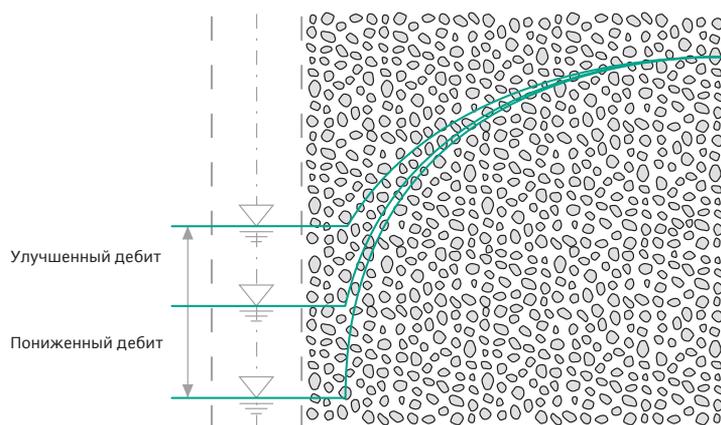
При том, что засыпаемые уплотнения могут быть установлены в соответствии с расположением слоев, сжимаемые уплотнения должны всегда устанавливаться так, чтобы они занимали все пространство, вплоть до поверхности земли. Однако они не подходят для использования в буровых скважинах, в которых проложены трубопроводы. Непрерывное сжатие не может быть реализовано, если должны быть установлены промежуточные трубы. Как правило, для заливаемых (засыпаемых) уплотнений лучше всего подходят буровые скважины с трубами, в связи с однородностью их кольцевого (затрубного) пространства и меньшей глубины.

#### Освоение скважины (удаление песка)

Удаление песка используется при освоении скважины и для удаления остатков промывочной жидкости и мелкозернистого щебня от просеянного гравия и смежной стенки ствола буровой скважины. При откачке воды из скважины уровень грунтовых вод понижается, и таким образом несколько увеличивается расход. Поскольку в начале откачки расход является высоким, твердые частицы удаляются значительно легче, и также имеет место высокая скорость выноса песка. В целом, полное удаление песка недостижимо.

Ударную нагрузку следует создать с помощью насоса для удаления песка и для удаления осадка. Чтобы избежать возникновения полостей и обвала слоев грунта, следует контролировать количество песка, удаляемого насосом. Кроме того, этот процесс нацелен на получение воды, максимально очищенной от песка. Содержание песка при вводе в действие должно соответствовать индикативным величинам, перечисленным в рабочем стандарте DVGW W 119. Если эти величины не достигнуты, удаление песка следует повторить.

#### Улучшенный дебит благодаря качественному удалению песка из области вокруг скважины



Процедура	Описание
Насосы для удаления песка	<p>Так как для скважин в твердой породе существует небольшой или совершенно отсутствует риск уноса песка, обычно достаточным является кратковременное применение насоса для удаления песка. Для этого, с непрерывной регистрацией измеренных результатов, скважина попеременно запускается на полную мощность и затем выключается. Чередование режимов должно выполняться с 5-минутными интервалами и поддерживаться в течение 6–12 часов. Если в конце этого периода времени содержание песка не будет составлять <math>\leq 0,1 \text{ см}^3/10 \text{ л}</math> воды, то необходимо ступенчатое использование насоса для удаления песка.</p> <p>Если при помощи насоса полное удаление песка (до указанной величины) не достигается, и при максимальной скорости извлечения из скважины получена большая величина содержания песка, насос должен применяться поэтапно.</p> <p>На этапе удаления песка (на глубине от 1,0 до 5,0 м) с использованием центрального заборного отверстия должно быть выполнено уплотнение выше и ниже фильтрующей трубы посредством резиновых рукавов.</p> <p>Для эффективного определения содержания песка в перекачиваемой воде следует взять пробу из скважины. Для этого вода выпускается в ковш через пробоотборный кран, при этом песок сначала должен осесть. Часть воды над песком сливается, а оставшая вода вместе с осевшим песком сливается в измерительный цилиндр, где песку снова дается время для осаждения. Измеренное распределение частей воды указывает на содержание песка в <math>\text{см}^3</math> на 10 л пробы воды.</p>
Поэтапное удаление песка	<p>Поэтапное удаление песка состоит из его предварительного удаления, применения периодического режима перекачивания и затем стадий ударного удаления песка.</p> <p>Для предварительного удаления песка берется несколько проб воды, и после того, как будет достигнута определенная величина уноса песка, мощность насоса еще более увеличивается. Затем берется еще одна проба воды, и процедура повторяется, пока не будет достигнута максимальная величина <math>5 \text{ см}^3/10 \text{ л}</math>.</p> <p>Затем начинается применение ударной нагрузки. Для этого скважина в течение нескольких минут работает на максимально возможной скорости откачивания. Затем насос выключается на такой же период времени. Эта процедура повторяется, пока унос песка не достигнет <math>0,1 \text{ см}^3/10 \text{ л}</math>. После того, как насос будет включен, следует взять пробу.</p> <p>После выполнения всей этой процедуры следует еще раз проверить отстойник скважины на наличие отложений песка, и в случае необходимости, удалить весь оставшийся песок. Величины, измеренные в ходе этой процедуры, отражают водоотдачу скважины и поэтому их следует зарегистрировать до того, как скважина будет построена.</p>
Поршни	<p>Для этой процедуры в поршневом диске обычно выполняют проходные клапанные отверстия, которые закрываются и открываются в зависимости от восходящего и нисходящего перемещения, чтобы создать всасывание на нижней стороне поршня. Это всасывание вызывает удаление песка, и в то же время над поршнем создается давление, которое разрушает любые связи между гранулами грунта. Эффективная глубина этого процесса ограничена.</p>
Метод импульса давления с волной сжатия	<p>Генерация импульса высокого давления в воде с одновременным перекачиванием максимально большого количества технологической воды. Эта процедура приводит к одновременному удалению песка, поэтому во многих случаях, в зависимости от геологии, потребность в перекачивании для удаления песка отсутствует. Благодаря скорости и глубинам, на которых эта процедура является эффективной, она в настоящее время является лидирующей на рынке.</p>

### Пробная откачка

Для каждого испытания должна быть создана программа с точными данными. В ней должны быть указаны, например, продолжительность, количество проб, которые будут взяты, глубина взятия пробы, тип измерений, вид источника, образцы воды для анализа и т.д.

Прежде чем начать испытания, о них нужно заблаговременно сообщить в соответствующий исследовательский институт, а также в орган, имеющий право выдачи разрешений на водопользование, и получить разрешение на проведение испытаний. Чтобы получить ясную картину и точные, ненарушенные измерения характеристик, все технологическое оборудование должно быть полностью поверено перед испытаниями.

Испытания следует всегда выполнять и после строительства скважины, чтобы можно было распознать понижение рабочих характеристик после наступления какого-либо события. Если скважину следует бурить в скальной породе, необходимо выполнить несколько промежуточных испытаний, чтобы сравнить водоподачу и характеристики в отдельных слоях скальной породы. Это позволяет остановить бурение, как только будет достигнут достаточный дебит.

Основные испытания выполняются сразу после окончания строительства скважины. Получаемая кривая добычи определяет доступный объем извлекаемой воды при рабочих условиях.

Как правило, основные испытания должны длиться минимум 120 часов (5 × 24 ч), чтобы обеспечить наилучшее определение рабочих характеристик скважины в эксплуатации.

Измерение скорости извлечения воды во время испытания следует всегда выполнять с использованием калиброванного водомера. При этом измерительный прибор всегда должен быть заполнен водой.

Уровень воды в других скважинах, которые включены в ту же программу измерений, следует измерять в одном интервале. Кроме того, построить график, отражающий оценку рабочих характеристик всех скважин.

Для лучшего контроля воздействия погодных факторов на естественные колебания уровня грунтовой воды могут быть установлены контрольные трубы.

Во время измерения уровня воды температура воздуха и воды должна колебаться в пределах 1/10 °С.

Каждое испытание должно быть зарегистрировано в протоколе испытаний. В протоколе должна быть описана область вокруг скважины, колодцы, водные источники, водные объекты, находящиеся вблизи скважины, стадия строительства скважины, цель испытания, глубина забора, данные поверки измерительного прибора, результаты анализа проб, взятых для химического и микробиологического исследования. Более подробно содержание протокола приведено в информационном листке DVGW W 111.

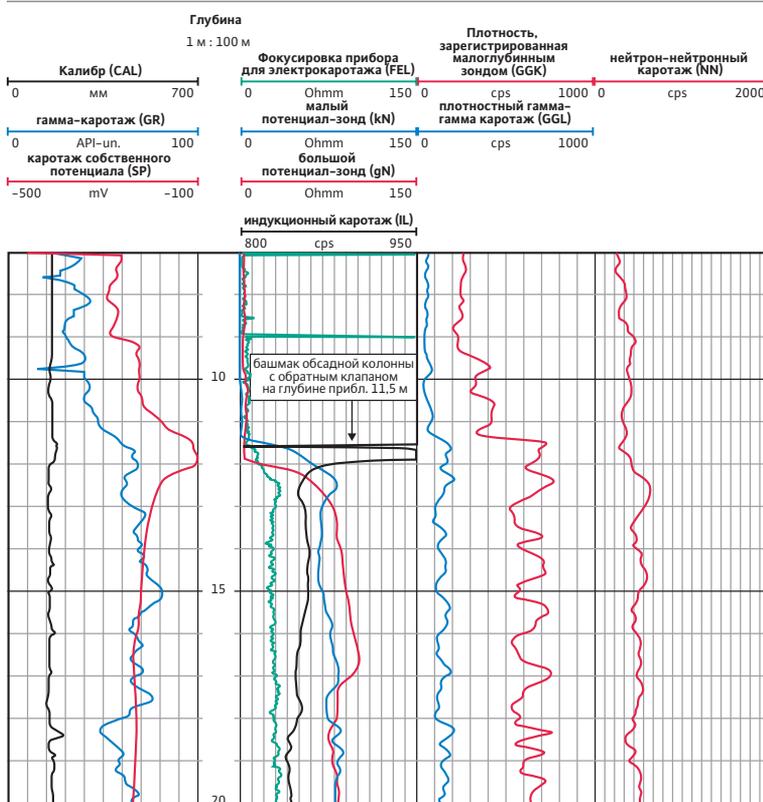
С целью улучшения качества данных, в процессе испытаний должны использоваться современные методы измерения и электронной регистрации. В частности, использование гидростатических датчиков давления для измерения уровня воды, совместная электронная регистрация данных включая измерения удельной проводимости, величины рН фактора и температуры. Эти меры значительно улучшают точность и количество данных, полученных при испытаниях, и обеспечивают возможность их последующей обработки.

## Процедура геофизических измерений в ходе строительства скважины

Процедура геофизических измерений изложена в текущем рабочем стандарте DVGW (W116). Программа измерения готовится индивидуально для каждой скважины и по каждому запросу.

Процедура измерения	Описание
Диаграмма расходомерного каротажа	Относительное распределение водопроявления в скважине и расхода воды определяется с использованием диаграммы расходомерного каротажа. Важно установить нагнетательный насос во время измерения, благодаря чему могут быть выполнены сравнительные измерения с работающим насосом и без него.
Диаграмма температурного каротажа	Диаграмма температурного каротажа предоставляет информацию о температуре в скважине.
Каротажная диаграмма по проводимости	Каротажная диаграмма по проводимости совместно с диаграммой температурного каротажа позволяют определить соленость веществ, содержащихся в скважине.
Диаграмма гамма-каротажа	Диаграмма гамма-каротажа отражает запись естественной радиоактивности. Это геологическое измерение дает информацию о типе подстилающих пород, в которых содержится вода.
Диаграмма FEL-каротажа	FEL-каротаж регистрирует электрическое сопротивление покрывающих пластов. Это измерение дает информацию о гидрогеологических характеристиках покрывающих пластов.
Диаграмма результатов измерения мутности	Измерение мутности – геологическое измерение, которое позволяет определить фотоэлектрическое сопротивление горизонта, зависящее от мутности.
Измерение калибра и наклона / направления	Для контроля геометрических данных буровой скважины во время бурения измеряются калибр (диаметр), наклон и направление скважины.
Гамма / гамма – нейтрон / Нейтронный каротаж	Предназначен для проверки плотности заполнения гравием за стенкой скважины.

### Геофизические измерения скважины



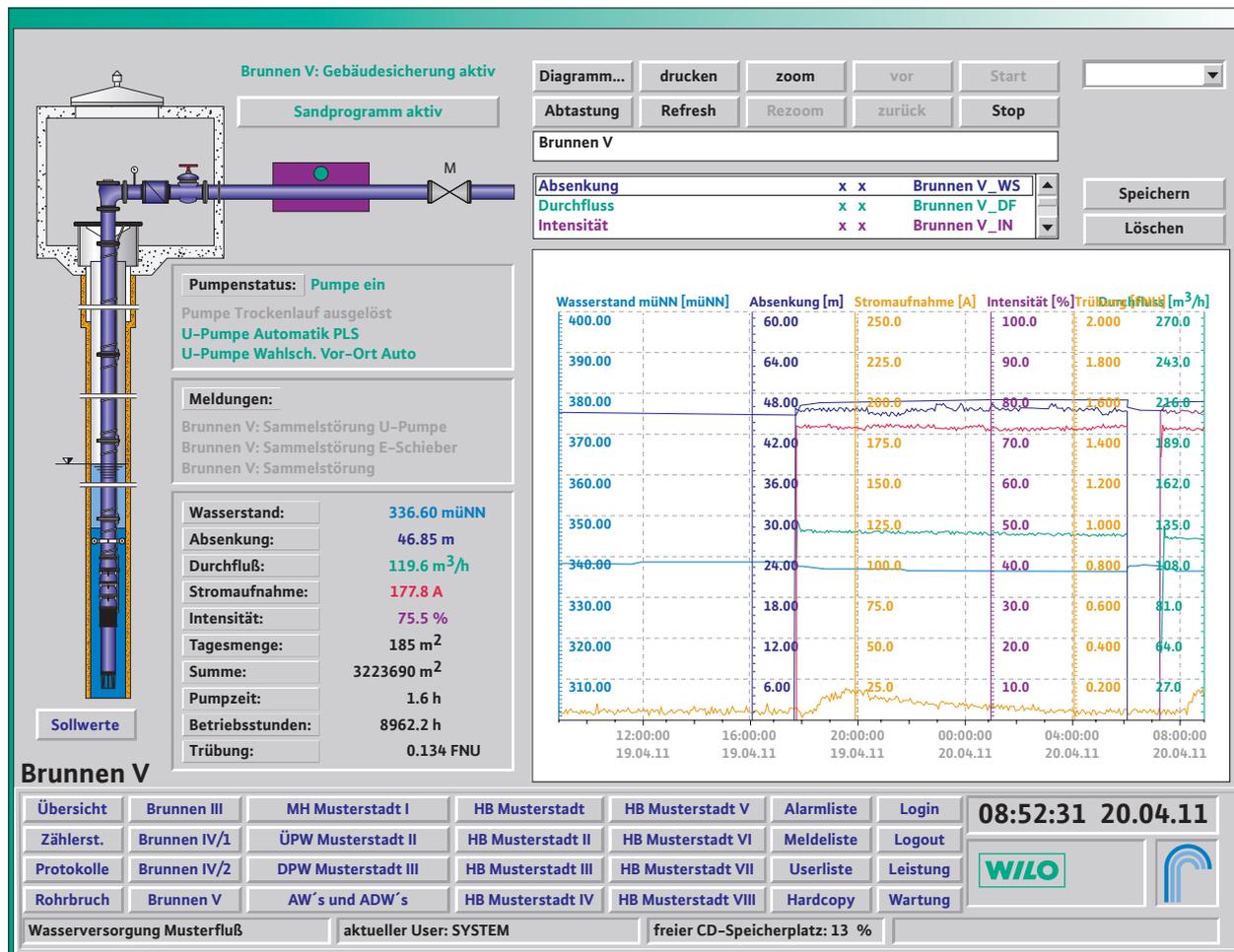
## Техническое обслуживание скважины

Поскольку внутренние поверхности глубокой скважины трудно осмотреть и оценить, следует сделать вывод о состоянии скважины на основании таких параметров, как качество воды, состояние насоса, рабочие отказы, так и других показаний о наличии проблем.

Приведены три примера процедур для такого контроля явлений внутри скважины.

Процедура	Описание
Использование регистратора данных	Позволяет выполнять непрерывную и бесперебойную регистрацию событий. Объемный расход может быть определен с использованием индуктивного измерителя расхода. Для того, чтобы измерить уровень воды, может использоваться гидростатический измерительный щуп. Этот метод способен обеспечивать очень точные показания.
Отбор проб по методике RWSP/BWSP	Позволяет отображать статический и эксплуатационный уровни воды.
Исследование по методике FS	Хорошее представление о состоянии конструкции скважины может быть получено с помощью регулярных осмотров с использованием телевизионной камеры, выполняемых каждые 5 лет. При подготовке к ним следует извлечь насос. Осмотр с использованием телевизионной камеры показывает механические повреждения облицовки стен скважины, а также процесс ухудшения состояния непосредственно самой скважины под действием времени. Например, отложения красного цвета указывают на образование осадка железной охры (красные окислы железа). Засоренные щели в фильтре указывают на потребность в мерах по восстановлению скважины. Встроенные лазерные датчики позволяют измерить повреждения, трещины и наличие инородных тел.

## Технология автоматического управления и регулирования



## Регенерация

Для устранения любых повреждений или дефектов в скважине целесообразно предоставить компании, которая выполняет эти работы, все существующие документы.

Кроме того, перед началом работ по регенерации должно быть получено одобрение от водоохраных органов. Также полезно выполнить пробную откачку перед началом работ по регенерации, чтобы характеристики можно было сравнить с результатами, полученными после работы.

Каждый метод регенерации можно оценить с точки зрения его эффективности, исходя из:

- отделения (удаление покрытий, засорений и отложений/песка);
- удаления (извлечение удаленного материала);
- проверки (измерения промежуточных результатов выполнения работы спустя некоторое время).

Краткий обзор отдельных процессов и процедур приведен в рабочем стандарте DVGW (W 130). Отчет о научно-исследовательской работе W 55/99 по DVGW сводит воедино последние полученные результаты относительно эффективности различных процедур.



Фильтрующая труба после ремонта  
Источник: Etschel Brunnenservice GmbH



Источник: Etschel Brunnenservice GmbH

Процедуры регенерации		Описание
Механическая процедура	Поршни / Щетки / Откачивание / Интенсивное удаление	Поршни: могут использоваться клапаны различных диаметров для создания эффекта всасывания. Щетки: стенки трубы могут очищаться пластмассовыми щетками, установленными на штанге. Откачивание: отложения песка и шлама, которые накапливаются у основания скважины, могут быть удалены с использованием эрлифтов. Интенсивное удаление отложений: поэтапное выкачивание из фильтрующих участков с использованием погружных насосов.
	Процедура с использованием струи высокого давления (внутренней/внешней)	Внутренняя струйная промывка выполняется медленно вращающимися соплами внутри трубы, в щелях фильтра и также до известной степени – в засыпанном гравии. Большое количество воды выпускается в виде струй, которые удаляют частицы загрязнений. Для выполнения внешней струйной промывки штанги, оснащенные соплами, вставляются в засыпанный гравий.
	Процедура использования волн гидродара с импульсами высокого давления воды	Используются минимум 2 корпуса сопел с 4 соплами, которые вращаются на высокой скорости в противоположных направлениях и обеспечивают подачу волновых импульсов высокого давления, очень эффективно удаляющих засорения и отложения. Одновременное выкачивание большого количества жидкости удаляет твердые частицы и обеспечивает очень хороший контроль в ходе отбора проб.
	Взрыв	Для металлических фильтрующих труб без стенок из гравия существует вариант создания отдельных импульсов путем взрывов с большой проникающей способностью посредством подвешивания в области фильтрации шнура, несущего заряд взрывчатого вещества.
Ультразвук	Для вариантов очень малой проникающей способности по всему материалу трубы могут использоваться генераторы ультразвука для создания микроколебаний.	
Химическая процедура	Поршни	Для введения средства для регенерации непосредственно в сечение, подлежащее регенерации, используется шланг.
	Однокамерное устройство	Средство для регенерации закачивается с избыточным давлением по секционно в открытые секции фильтра.
	Многокамерное устройство	Для проверки измерений и хода выполнения работ, а также концентрации и подачи средства для регенерации, последнее циркулирует в пределах двух камер по секциям в течение нескольких дней.
Сочетание механических и химических процедур	W 130 предусматривает начальную механическую регенерацию. После промежуточной проверки принимается решение относительно дополнительной химической регенерации.	
Испытание качества удаления отложений / удаления песка / пробная откачка	Должно быть выполнено кратковременное испытание после окончания нормальной эксплуатации скважины, чтобы лучше сравнить фактические рабочие характеристики скважины с результатами испытаний, которые были зарегистрированы после того, как была создана скважина. Если глубина скважины, измеренная зондированием, очень отличается от заданных чертежом скважины, то, во избежание дальнейших повреждений, скважину следует изучить, используя телевизионную камеру. Затем следует провести удаление песка, так как песок негативно влияет на работу и скважины, и насоса, а также серьезно ухудшает качество воды. Для этого выполняется прокачка секций фильтра, и в то же время продувка сжатым воздухом, не допуская смешивания зерен различных размеров, пока не будет достигнуто указанное минимальное содержание песка. Когда глубина скважины будет снова зондироваться, она должна иметь правильное значение.	
Дезинфекция	Если вода в скважине загрязнена бактериями, ее следует дезинфицировать (рабочий стандарт DVGW W 291). Для этого воду в скважине необходимо обработать раствором хлора или перекисью водорода (содержание хлора: для буровых скважин, приблизительно 50 мг/л, для шахтных колодцев – приблизительно 20 мг/л). Для буровых скважин раствор хлора или H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> равномерно распределяется по всей скважине с помощью давления. Для шахтных колодцев обмен воды следует выполнять, закачивая ее вдоль стенок скважины. Перекись водорода предпочтительно использовать на конструкциях из нержавеющей стали.	

## Восстановление

В отличие от регенерации, которая не изменяет конструкцию скважины, восстановление скважины включает в себя строительные работы. Это требуется, как правило, при серьезных повреждениях или сильном снижении рабочих характеристик. Более подробно восстановление и ремонт описаны в рабочем стандарте DVGW W 135.

### Вставка фильтров

Если показатели работы скважины указывают на повреждение фильтров, эта неисправность может быть устранена простым и экономичным способом – путем установки нового сменного фильтра, благодаря чему скважина может быть предохранена от выхода из строя. Если, с другой стороны, повреждение скважины уже настолько серьезно, что фильтрующий гравий вышел за пределы кольцевого пространства, следует предусмотреть сменный фильтр для кольцевого пространства, соответствующий размеру зерен гравия. Кроме того, сменный фильтр необходимо надежно центрировать, а размеры зерен гравия и размер щели должны быть достаточно большими, чтобы избежать засорения с сопровождающим это явление снижением эффективности.

Следует также учесть, что диаметр скважины постепенно уменьшается и возможно, что существующий рабочий насос и водоподъемную трубу со временем использовать будет невозможно. Поскольку в Германии большинство скважин так или иначе имеют размеры с запасом, то данное обстоятельство позволяет избежать указанной проблемы: существующую лицензию по отбору воды можно использовать достаточно долгое время.

### Демонтаж и установка нового фильтра

Ремонт путем демонтажа и установки нового фильтра легко выполняется в скважинах, которые устроены в устойчивой скальной породе. Напротив, в неустойчивой или рыхлой породе эту операцию реализовать труднее. Для этой процедуры блок фильтров сначала прорезается в нескольких местах. После того, как фильтровальный гравий будет удален и блок фильтров будет вынут, в скважину может быть установлен новый фильтр и заполнен гравием.

В случае неустойчивой породы необходимо перед разрезанием выполнить промывание струей воды, а фильтр следует вынимать по секциям.

Поскольку каждая скважина индивидуальна, процедуру следует планировать в деталях перед каждым ремонтом (например, с применением геофизических измерений). Ремонты, в частности, целесообразны, когда разрешение на новую скважину отсутствует и из-за серьезного повреждения сменный фильтр не может быть установлен.

## Пломбирование / демонтаж

При демонтаже скважины естественно возникшие непроницаемые слои в любом случае должны сохранять свою функцию. В оптимальной ситуации этого достаточно, чтобы демонтировать блок фильтров, с прорезанием щели на нижнем конце, чтобы гравий мог высыпаться из фильтра и можно было отсосать избыточный материал. Это приводит к высвобождению обсадной трубы, после чего проверить правильность пломбирования. Если все в порядке, можно нанести цемент от уровня выемки грунта до поверхности. Однако, если к пломбированию есть претензии, существует возможность разбурить цементную пробку в обсадной трубе и вновь запломбировать ее. Все пломбирования должны быть одобрены соответствующими органами власти.

## Реконструкция скважин

Преимуществом повторного бурения является то, что все соответствующие процедуры могут быть выполнены согласно последним данным и с высокой скоростью. При этом буровая скважина может быть углублена для достижения свежих водоносных пластов грунтовой воды. Для этого возможно потребуются подача нового заявления на получение лицензии на забор воды.

При выполнении проектов регенерации стены трубы и водные каналы уже будут очищены и состояние системы трубопроводов скважины будет известно. Однако, в случае использования химической регенерации, утилизация веществ, применяемых при регенерации, достаточно дорога. В этом случае также следует подать заявление на получение лицензии на забор воды, если должны применяться какие-либо химикаты.

Система вставных сменных труб относительно проста и недорога. Возможно, при этом потребуются насос и водоподъемная труба меньшего диаметра, так как эта система приводит к уменьшению проходного сечения. Применение ремонтных гильз из нержавеющей стали – один из методов предотвращения точечной коррозии и коррозионных ям (питтинга), возникающего в результате дробеструйной очистки, причем по умеренной стоимости. Однако могут возникнуть проблемы при запрессовке гильз в трубу.

Даже если полная очистка скважины при новой установке очень затруднительна и отнимает много времени, достоинство этого варианта будет в том, что удаляются все поврежденные части скважины. При этом учитывается, что крупноразмерные отложения окиси железа и засорения трубы для подачи грунтовой воды не могут быть удалены. При этом также могут использоваться современные строительные технологии и нет необходимости запрашивать новую лицензию на отбор воды.



## Анализ состава воды

Анализ состава воды предназначен для определения физических, химических и микробиологических параметров для оценки качества воды. Кроме того, он предоставляет ценную информацию для оптимального выбора материалов и для оценки потенциала возникновения отложений.

Компоненты, присутствующие в подземной воде, могут вызывать коррозию или приводить к появлению отложений в частях оборудования, которые соприкасаются с водой. Некоторые ионы, образующиеся при диссоциации, не важны с технической точки зрения и существенны только для потребителя воды. Сопротивление материала воздействию перекачиваемой жидкости предполагает формирование пассивированного слоя на деталях и узлах, которые входят в контакт с жидкостью. Для чугуна это защитный слой отложений извести, препятствующий образованию ржавчины, который может быть сформирован в зависимости от характеристик воды и предотвращает дальнейшую коррозию.

Для успешного действия этого защитного слоя необходимо соблюдение двух критериев:

- Склонность к выпадению известкового осадка; основные параметры – величина pH и карбонатная жесткость и / или кислотность KS 4.3 перекачиваемой жидкости.
- Химическая инертность осажденного защитного слоя по отношению к присутствующей угольной кислоте; основные параметры – содержание свободного CO<sub>2</sub> и карбонатная жесткость (или кислотность 4.3).

Диаграммы показывают равновесные кривые между защитным действием с одной стороны, и коррозией или неэффективностью защитного слоя с другой. В агрессивной зоне, по причине отсутствия защитного слоя, материал будет подвергаться коррозии.

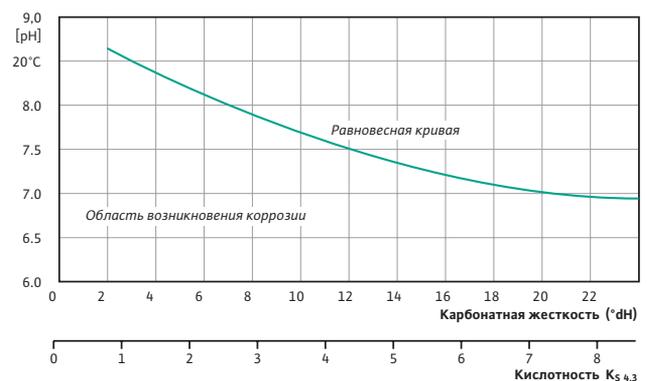
В этом случае рекомендуется использовать материалы, которые являются более коррозионностойкими.

Формирование защитного слоя зависит не от общей, а только от карбонатной жесткости (суммы содержания кальция Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и магния Mg (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). Другие компоненты и параметры могут отрицательно влиять на выбор стандартных материалов для конструкции оборудования скважин:

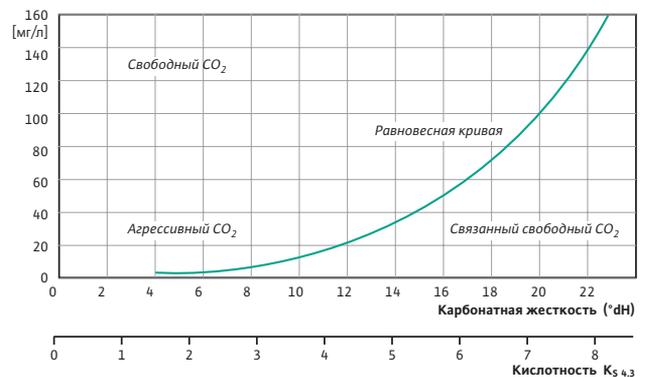
- SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>;
- Cl;
- остатки отработавшего пара;
- электрическая удельная проводимость;
- следы Cl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, серы, гуминовых кислот, углеводов.

Если эти компоненты находятся в каком-либо сочетании, они могут вызывать коррозию материала даже при низких концентрациях. Чем выше температура перекачиваемой жидкости, тем выше ее коррозионная активность.

### Химическая стабильность осаждаемого защитного слоя



### Химическая стабильность осаждаемого защитного слоя





## Формирование разрушающих отложений

Отложения, которые состоят из осажденных компонентов, негативно воздействуют на перекачивание жидкости и уменьшают рассеивание теплоты от двигателя.

Нежелательные отложения могут быть вызваны:

- чрезмерной склонностью к образованию известкового налета, как показано на рис. 1 (жесткая вода);
- содержанием железа более чем 0.2 мг / л или содержанием марганца более чем 0.1 мг / л (отложения охры/железистого песчаника).

Отложения внутри насоса понижают его КПД и таким образом увеличивают эксплуатационные расходы. Отложения на поверхностях двигателя, предназначенных для отвода тепла, приводят к снижению теплоотдачи и, в крайнем случае, к его перегреву.

## Твердые частицы

В зависимости от их характеристик и содержания, твердые частицы в перекачиваемой жидкости могут привести к абразивному износу материала деталей насоса. Как правило, погружные насосы предназначены для работы при среднем удельном содержании песка 25–80 мг/л.

## Газообразные компоненты

Во многих случаях в воде, например, в термальных источниках или минеральных водах, могут присутствовать газообразные компоненты. Газовые пузыри значительно изменяют характеристики подачи насоса и могут привести к возникновению неблагоприятных условий эксплуатации. В таких случаях также следует проконсультироваться с изготовителем насоса.

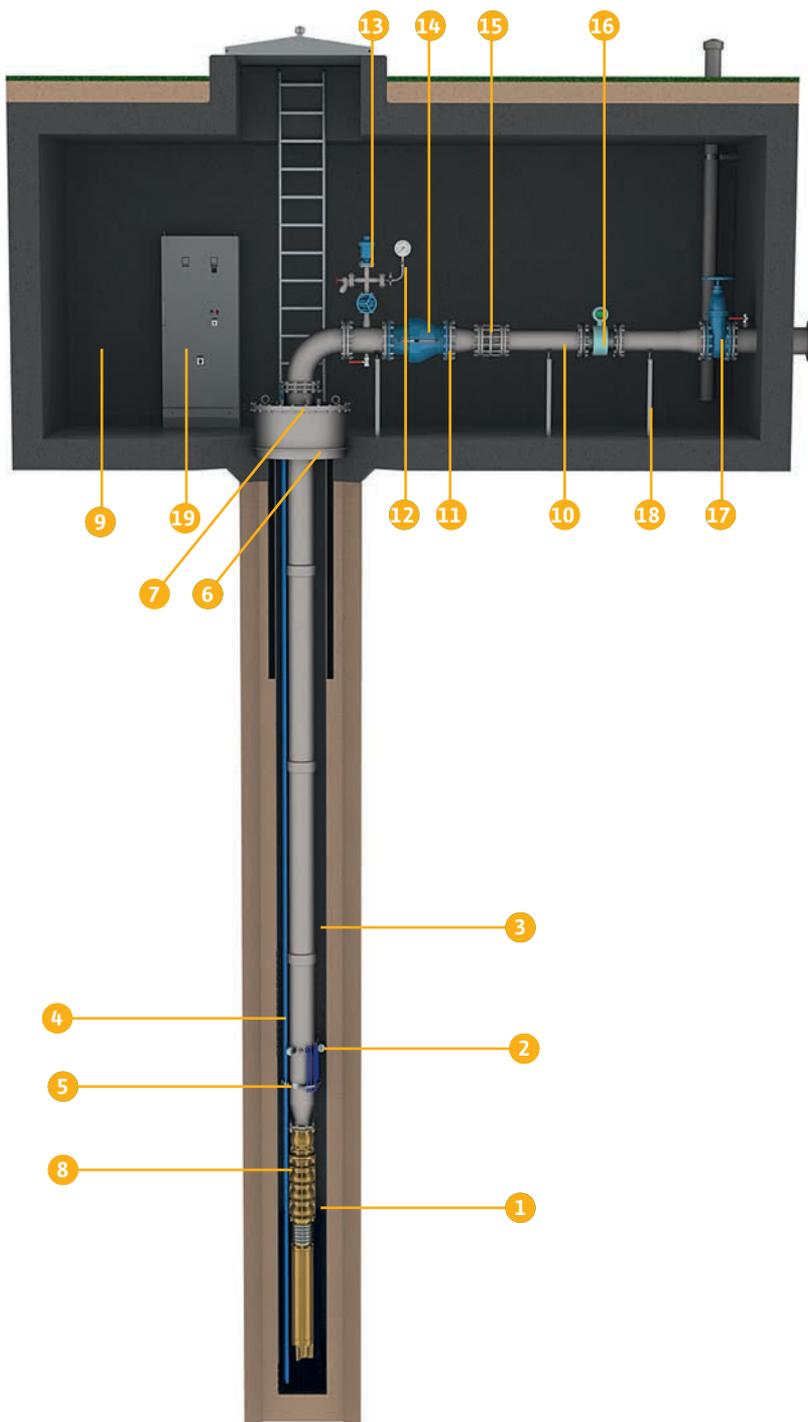
### Важные параметры анализа воды, влияющие на конфигурацию насоса

Параметры	Значение для конструкции насоса
Цвет	Коричневый цвет указывает на высокое содержание железа
Мутность	Может указывать на большое количество взвешенных частиц и соответственно высокое содержание песка
Электрическая удельная проводимость	Удельная проводимость более 1000 мкСм указывает на то, что вода будет агрессивна к материалам, таким как серый чугун и низколегированные стали
Величина pH фактора	Указывает на высокую коррозионную активность
Соли серной кислоты	При содержании более 200 мг/л – высокая коррозионная активность по отношению к таким материалам, как серый чугун и углеродистые или низколегированные стали
Хлориды	При содержании более 150 мг/л – высокая коррозионная активность по отношению к таким материалам, как серый чугун и углеродистые или низколегированные стали
Железо	При содержании более 0.2 мг/л существует особая тенденция к седиментации (оседанию) железной охры
Марганец	При содержании более 0.1 мг/л существует особая тенденция к седиментации двуокиси марганца
NH <sup>4+</sup> , Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , S, сернистые соединения, гуминовые кислоты, углеводороды	Агрессивность по отношению к чугуну



# Гидравлическое оборудование скважин

Подготовка и оборудование скважин очень разнообразные, но должны соответствовать законодательству, техническим требованиям и пожеланиям клиента. Представленная ниже разработка показывает возможный вариант выполнения. Используемые материалы и оборудование зависят от целевого назначения скважины. Типы скважин: скважина для питьевой воды, скважина для охлаждающей воды, противопожарная скважина, скважина технической воды, скважина термальных вод и т.д.



- 1 Погружной насос
- 2 Направляющая насоса
- 3 Водоподъемная труба
- 4 Контрольная труба
- 5 Хомуты для кабелей и контрольной трубы
- 6 и 7 Оголовок скважины
- 8 Датчик сухого хода
- 9 Павильон насосной станции
- 10 Система трубопроводов
- 11 Фланцевые соединения
- 12 Манометр
- 13 Клапан для впуска и стравливания воздуха
- 14 Обратный клапан
- 15 Перепускная съемная секция
- 16 Водомер для определения объемного расхода (механический или магнитно-индуктивный расходомер)
- 17 Задвижка
- 18 Опоры трубы
- 19 Шкаф управления работой погружного насоса

## Оборудование, устанавливаемое внутри буровой скважины



### 1 Погружной насос

Погружной насос со встроенным обратным клапаном и кабелем питания.



### 2 Направляющая насоса

Направляющие насоса предназначены для крепления к нижней точке водоподъемной трубы, изготавливаются из нержавеющей стали с пластмассовыми роликами. Внешний диаметр по роликам должен соответствовать внутреннему диаметру скважины.

Направляющая насоса из нержавеющей стали с пластмассовыми роликами



Фланцевая труба с углублением под кабель и контрольную трубу



Водоподъемная труба с замковым стыковым соединением (ZSM) позволяет быструю установку, исключая соединения болтами; позволяет иметь меньший диаметр скважины, так как соединения труб с использованием ZSM имеют меньшую толщину, чем фланцевые соединения

### 3 Водоподъемная труба

Через водоподъемную трубу вода подается к оголовку скважины и с ее помощью обеспечивается механическое крепление погружного насоса.

Варианты водоподъемной трубы:

- Фланцевые трубы
- Трубы с замковым стыковым соединением (ZSM = муфтовое соединение, передающее растягивающее усилие в зажим)
- Трубы с резьбой (использование в большинстве случаев прекращено).

Применяемый материал:

- Нержавеющая сталь V2A или V4A (в зависимости от применения)
- Стальные трубы с покрытием Rilsan или с полимерным покрытием
- Оцинкованные трубы
- Тканые шланги (длина шланга до 200 м с номинальным диаметром 150 мм)

#### 4 Контрольная труба

Изготавливаются, главным образом, из пластика и имеют замковые стыковые соединения; 80% длины трубы имеет сплошную стенку, а нижние 20% являются разрезной трубой. Трубы для измерения уровня воды в скважине могут также изготавливаться из нержавеющей стали.

#### 5 Хомуты для кабелей и контрольной трубы.

Используются для крепления кабелей насоса и контрольной трубы. Различают резиновые или металлические хомуты. Резиновые хомуты должны иметь разрешение КТВ (Комитет по безопасности неметаллических материалов имеющих контакт с питьевой водой), и замыкающие крюки должны быть изготовлены из нержавеющей стали качества не хуже чем V2A. Металлические хомуты должны быть точно подобраны в соответствии с конструктивным исполнением.

#### 6 и 7 Оголовок скважины

Предназначен для герметизации буровой скважины снаружи, чтобы предотвратить попадание в скважину посторонних предметов, а также для того, чтобы нести механическую нагрузку от заглубленной конструкции.

Для скважин питьевой воды оголовок, включая крышку, изготавливается из нержавеющей стали. Важно, чтобы оголовок был способен выдерживать все вертикальные нагрузки, создаваемые насосом, водоподъемной трубой, водой, содержащейся в ней, и нагнетаемым давлением насоса.

Для оголовков скважин следует обеспечивать анкерное крепление к полу сооружения или оснащать их кольцом для бетонирования в углубление пола.



Резиновый хомут



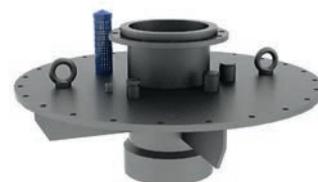
Металлический хомут



Фрагмент водоподъемной трубы



Оголовок скважины, укомплектованный кольцом для бетонирования



Оголовок скважины с транспортировочными проушинами, отверстиями для впуска и стравливания воздуха, отверстиями для засыпки гравия, кабельными уплотнениями и ребрами жесткости с нижней стороны



Датчик гидростатический



Датчик типа «электрод»

### 8 Датчик от сухого хода

Защита от сухого хода реализуется посредством подключения датчиков уровня к устройству управления насосом. В качестве датчиков чаще всего применяют гидростатический датчик, либо датчики типа «электрод». В первом случае датчик реагирует на давление воды, устанавливается на максимальной глубине в контрольной трубе, позволяет определить величину уровня воды и тем самым настроить значение отключения насоса. Кроме этого, такой датчик дает возможность снятия величин статического и динамического уровней воды. Во втором случае электроды регистрируют электрическое сопротивление, и устанавливаются только на предельно-допустимом уровне воды. Если уровень воды опустится на столько, что электрод окажется без воды, то электрическое сопротивление возрастет и насос будет отключен. Двумя электродами не возможно измерить уровень, однако такая реализация дешевле варианта с гидростатическим датчиком давления.

## Оборудование, устанавливаемое снаружи буровой скважины

### 9 Павильон насосной станции

Это сооружение для ограничения доступа к скважине. Устанавливается над буровой скважиной, может быть надземным или подземным.

Для подземных сооружений (смотровых колодцев) следует обеспечить специальные возможности относительно доступа к колодцу. Сооружения смотрового колодца следует защищать специальными мерами от грунтовых вод. Такие сооружения необходимо оборудовать отверстием для впуска и стравливания воздуха со свободным проходом для воздуха приточно-вытяжной вентиляции.

Вход в надземные здания (наземные павильоны над скважинами), главным образом, выполняется на уровне земли. Для этого типа строений следует предпринять особые меры защиты от замерзания. Даже выходящая напорная труба должна быть защищена от замерзания. Если строение находится на склоне, следует принять противооползневые меры.

Также возможны варианты специальных сооружений, таких как оголовки скважины Брехтеля (Brechtel) или контейнер.

### 10 Система трубопроводов

Система трубопроводов в пределах строения должна выдерживать статические и динамические усилия и должна быть оснащена соответствующими креплениями и опорами. В скважинах для снабжения питьевой водой главным образом используется нержавеющая сталь V2A или V4A.

### 11 Фланцевые соединения

Фланцевые соединения на трубах должны всегда изготавливаться из нержавеющей стали. На переходах к деталям из других материалов следует обеспечить гальваническую изоляцию между фланцевыми соединениями.

Нормальное фланцевое соединение содержит болты и шайбы из нержавеющей стали V2A, а гайки из нержавеющей стали V4A, – для облегчения откручивания. Количество, размеры и длина болтов зависят от размера фланца и номинального давления. Прокладка должна быть из числа одобренных КТВ (Комитетом по безопасности материалов, имеющих контакт с питьевой водой) и соответствовать номинальному значению давления.

**12 Манометр**

Манометр следует установить на напорной трубе над оголовком скважины. Он должен быть оснащен трехходовым краном для отбора проб. Это позволяет обнулить показания манометра. Диапазон показаний манометра должен быть выбран, исходя из максимального напора насоса. После измерения трехходовой водопробный кран следует установить так, чтобы показания манометра были – 0 –.



Манометр с индикацией давления

**13 Клапан для впуска и стравливания воздуха**

Предназначен для автоматического удаления воздуха из наивысших точек работающего трубопровода, а также для автоматического впуска воздуха (в небольших количествах) в трубопровод при образовании в нем вакуума.



Клапан для впуска и стравливания воздуха

**14 Обратный клапан**

Внутри павильона следует установить дополнительный обратный клапан (RV).



Обратный клапан с перепускной трубкой

**15 Перепускная съемная секция**

Представляет собой фланцевый компенсатор, и в случае отказа какого-либо узла, секция позволит укоротить трубу так, чтобы дефектный узел можно было заменить, не прилагая усилий к системе.



Перепускная съемная секция



Водомер типа MID с установленным преобразователем

#### 16 Водомер для определения объемного расхода (механический или магнитно-индуктивный расходомер MID)

Водомер необходим для точного определения объемного расхода, создаваемого насосом. Он должен отображать мгновенный расход и регистрировать общее поданное количество воды, для получения отчетов. Решение, устанавливать обычный механический водомер или магнитно-индуктивный расходомер (MID), принимается по усмотрению владельца системы. Оба типа обеспечивают подачу необходимых электрических сигналов в шкаф электроавтоматики и системе дистанционного управления.



Задвижка



Опоры труб

#### 17 Опоры труб

Воспринимают статические нагрузки от веса трубопровода, арматуры, воды, которую они содержат, а также динамические нагрузки от гидравлических ударов, вибрации и пульсации. Если трубопровод не закреплен, его не следует нагружать этими усилиями. При высоком давлении рекомендуем установить предохранительные устройства защиты..



Шкаф управления

#### 18 Шкаф управления для погружного насоса

Представляет собой электрическую систему для защиты и управления работой погружного насоса. Система может включать также функции отображения, сохранения и передачи параметров. Система должна соответствовать нормам VDE и предписаниям местных организаций по энергоснабжению.

## Кривые насосных характеристик

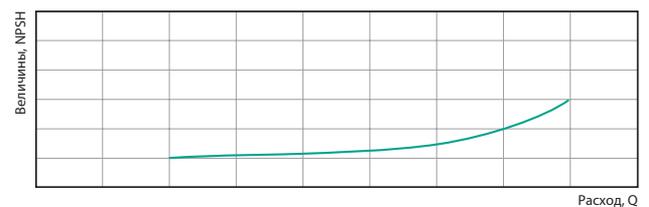
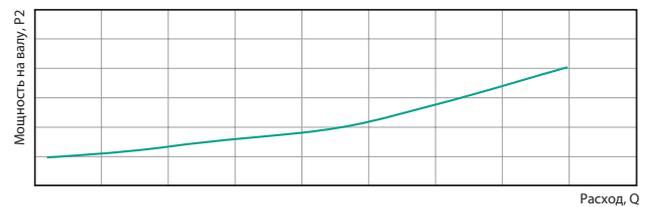
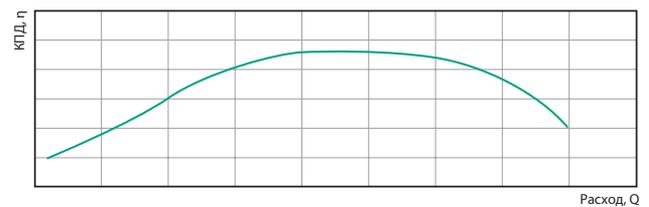
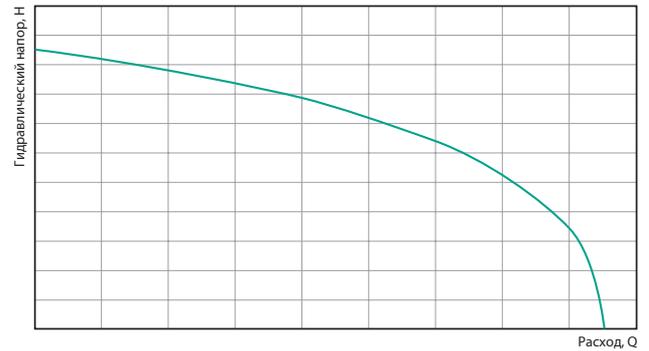
### Общие кривые насосных характеристик

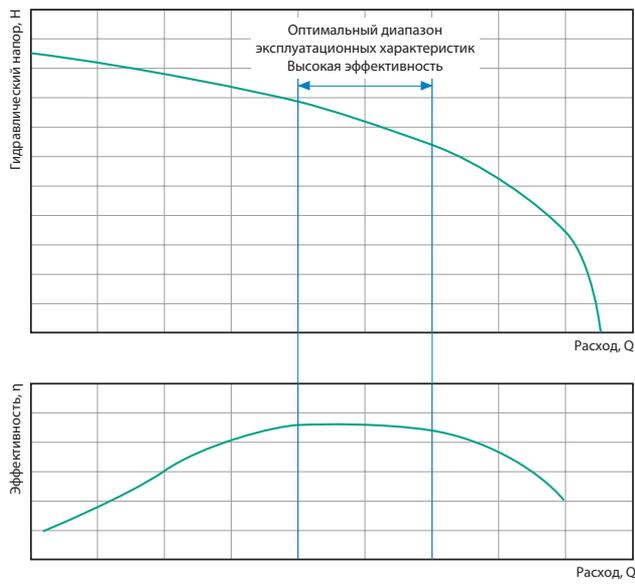
Кривые насосных характеристик рассчитываются производителем и подтверждаются различными измерениями на испытательном стенде. Кривые используются для правильного выбора погружного насоса для каждой конкретной установки.

Среди прочего, кривые насосных характеристик дают информацию об объемном расходе (Q), гидравлическом напоре (H), КПД насоса ( $\eta$ ), потреблении энергии (P), оборотах (n), вращающем моменте предельной нагрузки (M) и NPSH – кавитационном напоре насоса.

На основе этих параметров может быть выбран соответствующий погружной насос для каждого варианта применения.

В пределах европейской директивы ЕС, насосное оборудование производится с параметрами, предельное отклонение которых соответствует ISO9906.

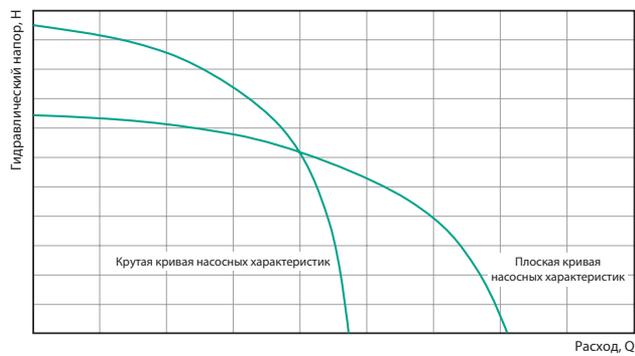




### Кривая насосных характеристик QH

Основной фактор для рассмотрения – соотношение кривой насосных характеристик QH (объемный расход + гидравлический напор) и КПД.

Рабочая точка насоса – величина полученной гидравлической производительности [ $\text{м}^3/\text{ч}$ ] и напора [м] насоса.



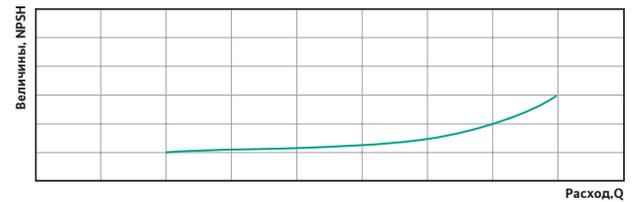
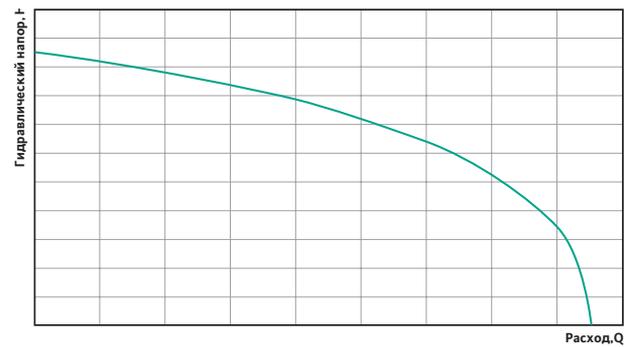
В зависимости от применения могут выбираться насосы с более плоской кривой насосных характеристик QH (низкий гидравлический напор при нулевой подаче) или с более крутой кривой насосных характеристик QH (высокий гидравлический напор при нулевой подаче), в зависимости от диапазона эксплуатации.

Гидравлический напор при нулевой подаче (также называемый максимальным напором) – точка в крайней левой части кривой насосных характеристик – точка максимального давления нагнетания без подачи воды (не является рабочей).

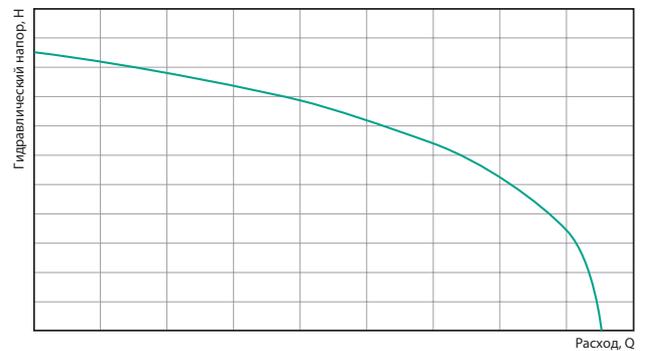
$H = \text{максимум}$ ,  $Q = 0$  (недопустимая рабочая точка).

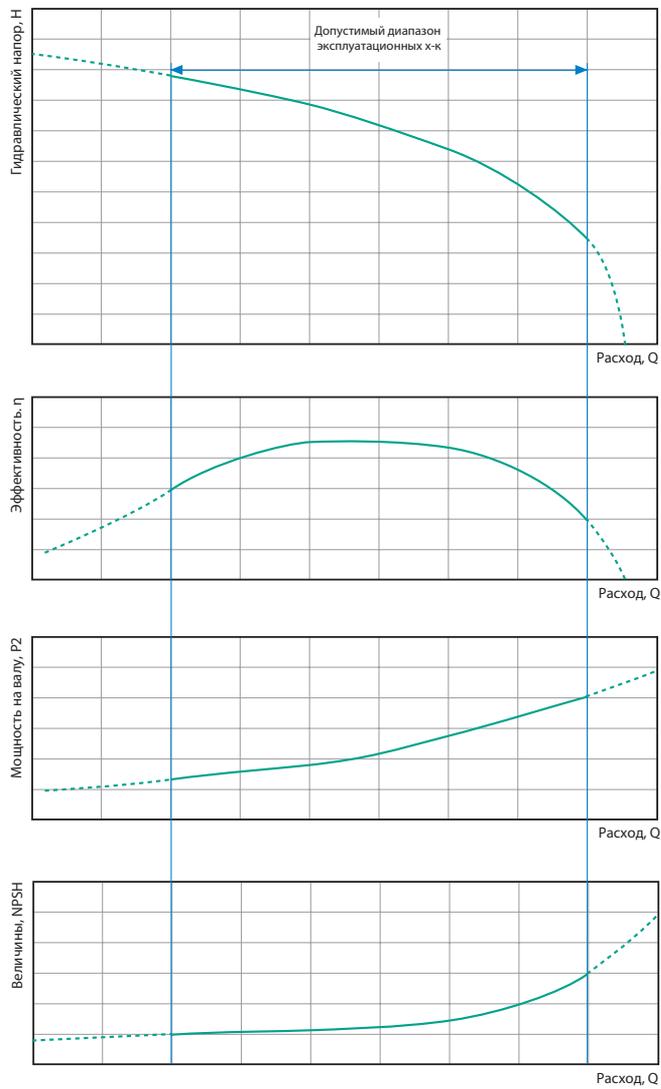
**NPSH**

NPSH – важный показатель для погружных насосов с точки зрения минимального уровня воды над насосом в скважине. Скважины, которые склонны к существенному понижению уровня воды во время перекачивания, следует оборудовать соответствующими устройствами для защиты от сухого хода. Нельзя позволять уровню воды в скважине падать ниже предельного.

**Кривая мощности насоса**

Кривая мощности насоса указывает на мощность, которую должен обеспечить двигатель привода без перегрузки, для реализации всего диапазона насосных характеристик на соответствующей кривой, в пределах которого можно эксплуатировать насос.





### Рабочий диапазон

Изготовитель определяет диапазон, в пределах которого насос может работать без повреждения гидравлической системы и двигателя.

Эксплуатация погружных насосов в диапазоне кривой насосных характеристик, соответствующей пунктирной линии, запрещена.

## Расположение погружного насоса в скважине

При установке погружного насоса, следует выполнять определенные требования, избегая повреждения скважины и самого насоса.

Большинство буровых скважин имеет покрытие труб по всей длине, которое прерывается фильтрующим покрытием труб в необходимых водоносных слоях. Погружной насос следует поместить так, чтобы ни в коем случае он не занимал место в фильтрующей секции трубы в скважине. Однако, если это неизбежно, важно, чтобы на погружном насосе был установлен охлаждающий кожух.

В некоторых случаях охлаждающий кожух следует устанавливать в обязательном порядке, для принудительного направления потока воды через двигатель и достижения необходимого охлаждения двигателя.

Погружной насос следует устанавливать в скважине на глубине, которая гарантирует достаточную толщину водного покрытия над всасывающим фильтром насоса, чтобы избежать кавитации, формирования вихрей, всасывания воздуха при любых условиях, даже при максимальном расходе.

В скважинах с большим сроком эксплуатации заполнение скважины может нарушиться. В этом случае можно ожидать, что при работе погружного насоса уровень воды слишком сильно понизится, что может повредить насос. Здесь очень важно, чтобы система была оснащена устройством выключения, для защиты насоса от сухого хода и попадания воздуха.

Погружной насос запрещается устанавливать в самой глубокой точке буровой скважины, так как со временем можно ожидать, что отложения осаждающихся взвешенных твердых частиц накопятся на дне буровой скважины, что приведет к значительному ухудшению условий охлаждения двигателя.

Расстояние от насоса до дна буровой скважины должно составлять по крайней мере около 1–5 метров, в зависимости от характеристик скважины и воды.



# Конфигурация погружного насоса

Для работы систем насоса необходимо следить, чтобы все используемое оборудование было оптимально сконфигурировано с учетом рабочей точки.

Для большинства устройств привода и других насосов требования по размещению являются вторичными факторами. Однако для погружных насосов малый диаметр скважины налагает особые ограничения на применяемые в технологическом процессе гидравлические устройства и двигатели привода. Малый диаметр важен, потому что затраты на бурение и оборудование скважины растут по мере увеличения диаметра скважины. Из-за высокой стоимости монтажа очень важно удовлетворение потребности в надежной работе и минимизации эксплуатационных расходов, а также в оптимальном расположении погружного насоса.

Таким образом, при конфигурировании гидравлических систем и двигателя привода следует обеспечить их максимальную эффективность. Объемный расход  $Q$  [л/с или м<sup>3</sup>/ч] и обеспечиваемый системой гидравлический напор  $H$  [м] формируют рабочую точку насоса. Объемный расход качественной скважины определяется дебитом и потребностями в воде снабжаемой области. Гидравлический напор  $H$  состоит из статического гидравлического напора (разность высот между рабочим уровнем воды в скважине и высотой подачи перекачиваемой жидкости в промежуточном резервуаре) плюс динамический гидравлический напор (потери, вызванные гидравлическим сопротивлением). Динамический гидравлический напор зависит от расхода через отдельные узлы и также называется потерей давления. Если погружной насос должен работать в различных рабочих точках, то рабочая точка, в которой он работает в течение большей части времени, должна обеспечивать оптимальную эффективность. Если погружной насос должен работать в двух или нескольких различных рабочих точках, важно, чтобы его привод осуществлялся через преобразователь частоты, для достижения оптимальной эффективности.

Точный выбор кабеля двигателя является столь же критически важным, как и правильный выбор погружного насоса. Рассеяние мощности в питающем кабеле (особенно, если он имеет большую длину) является фактором затрат, который относится ко всему рабочему времени, и пренебрегать им нельзя.

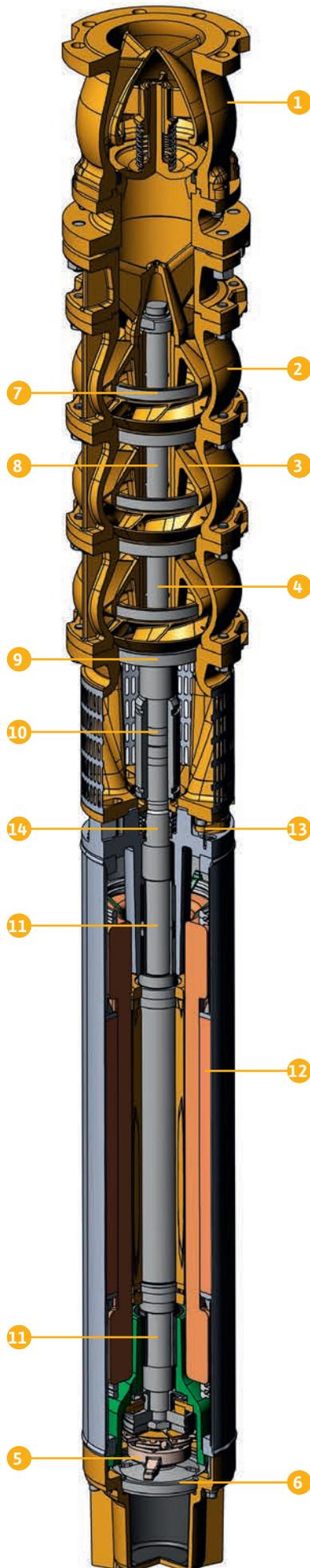
Для насосов, которые обеспечивают работу в аварийных условиях или работают в течение лишь нескольких часов (например, в системах противопожарной защиты и т.д.) следует определить характеристики питающего кабеля так, чтобы они соответствовали директивам VDE и местным нормам электропитания. Однако для погружных насосов, которые работают долгое время и имеют мощность более 3 кВт, питающий кабель насоса должен иметь большой размер сечения для снижения электрических потерь, вызванных резистивным нагреванием кабеля.

Выбирая кабель для питания насоса, нужно также учитывать его характеристики. Среди прочего, важно определить, должен ли использоваться экранированный кабель.

Выбор материалов насоса также очень важен, так как это может быть критически для увеличения эффективности и более длительного срока службы насоса. Наиболее подходящими для этого признаны литые материалы, как чугун, бронза, нержавеющая сталь, дуплекс. Указанные материалы должны обеспечивать максимальный срок службы и эффективность применения.

Для деталей двигателей привода главным образом должны использоваться материалы типа нержавеющей стали или бронзы.

Положение установки – еще один критерий, который следует учитывать; в горизонтальной скважине насос также может быть установлен горизонтально. Это следует выяснить заранее, поскольку не все погружные насосы подходят для горизонтальной установки, это зависит от количества ступеней и длины двигателя.



## Конструкция

Погружной насос состоит из двух основных частей – гидравлической системы («насосной части»), которая, как правило, находится сверху, и электрического двигателя привода, который, как правило, находится внизу.

Гидравлическая система разделена, в свою очередь, на три функциональные части: всасывающая часть с муфтой двигателя, ступени гидравлической системы и обратный клапан с фланцем для крепления к трубопроводу.

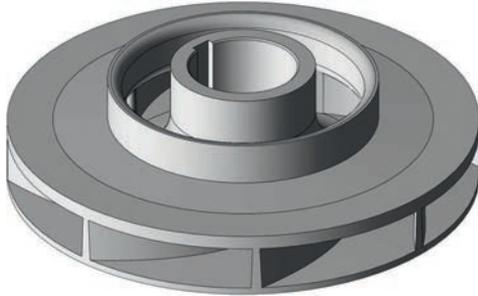
### 1 Напорный патрубок – соединение с водоподъемной трубой

Соединение насоса с трубой выполняется с помощью напорного патрубка с фланцем или резьбой, которые соответствуют стандарту и зависят от ступени давления и номинального диаметра. Это соединение может быть отдельным узлом или может быть непосредственно включено в последний гидравлический элемент.

Обратный клапан установлен непосредственно над гидравлической системой. Как правило, обратные клапаны относятся к типу подпружиненных клапанов. В них пружина всегда прижимает заслонку клапана к седлу, чтобы избежать сбоя по причине отклонения заслонки. Уплотняемая поверхность чаще всего имеет форму двух металлических поверхностей (жесткое уплотнение, высокое давление смыкания) и/или одной металлической поверхности, упирающейся в фасонное резиновое кольцо (мягкое уплотнение, низкое давление смыкания). В целом, настоятельно рекомендуется устанавливать обратный клапан, во избежание гидравлического удара после того, как насос будет выключен.

### Гидравлическая ступень – корпус <sup>2</sup> и рабочее колесо <sup>3</sup>

В зависимости от коэффициента быстроходности насоса  $n_s$  или  $n_q$ , которая может быть вычислена исходя из данных подачи  $Q$  и  $H$  и числа оборотов двигателя, имеются различные формы рабочего колеса:



Радиальное ( $n_q = 7 \dots 50$ ) для малых объемных расходов



Полуаксиальное ( $n_q = 35 \dots 160$ )

Осевая конструкция  $n_q 160$  сегодня мало используется, потому что она способна обеспечить только низкий гидравлический напор. Быстроходность насоса представляет собой расчетную переменную, связанную с гидравлическим напором и объемом подачи, а также с числом оборотов. Чем выше эта величина, тем выше скорость гидравлической системы, но ниже достижимый гидравлический напор на каждую ступень.

$$n_q = n Q^{0.5} / H^{0.75}$$

$$Q \text{ [м}^3\text{/с]}, H \text{ [м]}, n \text{ [с}^{-1}\text{]}$$

Профиль рабочего колеса влияет на конструкцию корпуса и соединения.

При радиальной конструкции рабочего колеса направление потока воды изменяется на  $180^\circ$ , чтобы каждая отдельная ступень имела малую монтажную высоту. Конструкция лопастей также имеет радиальное направление, и поэтому лопасти в основном вставляются в относительно простой по конструкции корпус ступени. Затем корпуса отдельных ступеней могут устанавливаться один над другим в блоки.

При полуаксиальных рабочих колесах направление потока отклоняется на величину от  $135^\circ$  до  $90^\circ$  и, таким образом, требуется большая проточная камера. Корпус при этом устроен соответственно.

Конструкция влияет и на давление ступени, и на доступное количество ступеней. Чем больше изменение направления потока внутри корпуса, тем больше падение давления в пределах ступени, и тем меньше нагнетательное давление, однако, тем больше ступеней может быть установлено в блок одна над другой в пределах данного размера и вала привода насоса.

**7 Противозносные щелевые кольца**

Рабочие колеса вращаются внутри неподвижных корпусов. Необходим определенный зазор в качестве меры предосторожности от потенциального истирания и повреждения обеих частей конструкции. Для поддержания минимально возможного зазора при одновременном снижении потенциальных ремонтных затрат устанавливаются «противозносные кольца» из бронзы или нержавеющей стали.

**4 Вал насоса**

Рабочие колеса установлены на валу насоса. Шпоночные соединения предотвращают скольжение рабочих колес. Распорные втулки гарантируют точное осевое положение рабочих колес на валу. Другой, несколько более дорогой метод, состоит в использовании зажимных втулок. Они позиционируют и по отдельности фиксируют рабочие колеса на валу насоса, используя систему шлицов. Материал вала – особые нержавеющие стали, такие как 1.4021, 1.4421 или 1.4462.

**8 Подшипники вала насоса**

В подшипниках вала насоса используются специальные подшипниковые втулки, сделанные из разнообразных материалов, в настоящее время – на основе каучука типа EPDM, Viton или NBR. Втулки могут быть ребристыми или желобчатыми для быстрого создания необходимой смазочной пленки между несущими поверхностями. Перекачиваемая жидкость служит смазочным материалом.

**9 Всасывающий фильтр и 10 Муфта двигателя**

Всасывающий фильтр главным образом устанавливается между двигателем и гидравлической ступенью. Столб воды, находящийся над всасывающим патрубком, оказывает определенное давление, которое заставляет жидкость поступать в гидравлическую ступень. Всасывающий фильтр предотвращает попадание внутрь крупных загрязняющих частиц. Входное отверстие фильтра имеет такой размер, чтобы оно не ухудшало характеристики всасывания или величину NPSH. Муфта между двигателем и валом насоса расположена за всасывающим фильтром. Двигатели с диаметрами не более 8" комплектуются стандартной муфтой NEMA. Соединение NEMA является шлицевым. Для двигателей размером 10" и более муфта состоит из установленной шпонки и соединительной втулки. В обоих случаях муфты представляют собой жесткое соединение.

**Погружной двигатель**

Различие в целом делается между капсулированными и перематываемыми двигателями. Размер двигателя,

как правило, указывается в дюймах. Этот размер указывает минимальный диаметр скважины, в пределах которой можно установить данный двигатель. Оба указанные типа двигателей заполняются моторной жидкостью. С одной стороны, она охлаждает обмотки двигателя, с другой – смазывает подшипники. Важное различие состоит в том, что капсулированные двигатели

не могут быть перемотаны. Погружные двигатели доступны однофазные и трехфазные. Теплота, которая выделяется в обмотке, рассеивается через моторную жидкость к кожуху двигателя и передается потоку перекачиваемой среды.

**6 Диафрагма для компенсации давления**

В нижней части двигателя имеется диафрагма для компенсации давления. Она компенсирует статическое давление воды, поскольку выше двигателя имеется водяной столб, а также увеличение давления, вызванное температурным расширением. Это гарантирует, что давление внутри двигателя всегда будет соответствовать давлению снаружи.

**5 Упорные подшипники и контрупорные подшипники**

Упорные подшипники воспринимают динамическое осевое усилие от насоса и вес ротора (осевое усилие внутри двигателя). Контрупорные подшипники воспринимают только осевое усилие, направленное вверх (от двигателя). Упорные подшипники могут быть подшипниками Митчелла или простыми подшипниками скольжения. Подшипники Митчелла имеют преимущество за счет более низких потерь на трение, даже при высокой механической нагрузке, и более низкого износа благодаря лучшей смазке. Упорные подшипники обоих типов смазываются моторной жидкостью. Чтобы создать устойчивую смазочную пленку, следует поддерживать определенную минимальную скорость вращения. Материалы для элементов скольжения – формованный углерод или графит, а для опорных деталей – нержавеющая сталь.

**11 Радиальные подшипники**

Радиальные подшипники выполняют ту же функцию, что и подшипники скольжения в гидравлике насоса. (см. пункт 4 «Вал насоса»). Главным образом они состоят из формованного углерода или графита.

### 12 Статор с обмоткой двигателя.

#### Капсулированные двигатели

В этом типе двигателя обмотка находится внутри отдельной секции и залита синтетической смолой. Это означает, что двигатели данного типа не могут быть перемотаны. Этот тип конструкции, главным образом, используется в двигателях малого диаметра. Типичные особенности капсулированных двигателей – кабельное присоединение с литым штепсельным разъемом.

#### Перематываемые двигатели

В отличие от герметичных двигателей, в таких двигателях обмотка не герметизирована. Вместо этого используется специальный изолированный обмоточный провод. Изолирующим материалом может быть поливинилхлорид, PE2/PA или тефлон. Конструкцию такого типа имеют двигатели диаметром 8" и более. Обмотка закреплена в пазах с помощью клиньев. Вылеты обмотки статора закрепляются посредством поддерживающих колец. Заклинивание предотвращает скручивание или скольжение обмотки, когда она подвергается воздействию высоких пусковых крутящих моментов. Кабель питания подсоединяется к обмотке и изолируется непосредственно внутри двигателя. Это позволяет использовать широкое разнообразие сечений и типов кабелей, включая экранированные кабели.

Температурный контроль выполняется непосредственно внутри вылетов обмотки статора и рядом с подшипниками, а не внутри вторичных компонентов, таких как моторная жидкость и корпус двигателя. Теплота, генерируемая внутри обмотки и в подшипниках, рассеивается в моторную жидкость. Она передается внутрь кожуха двигателя и затем в перекачиваемую жидкость. Специальные системы охлаждения внутри двигателя, типа технологий охлаждения двигателя Wilo-CoolAct, улучшает теплопередачу и предотвращают возникновение мест сильного нагрева. Системы охлаждения этого типа позволяют существенно повысить рабочие характеристики по сравнению с двигателями, в которых отсутствует активное охлаждение.

### 13 Опорный фланец двигателя с кабельным уплотнением

Гидравлика насоса установлена на опорном фланце двигателя. Специальные кабельные уплотнения стойкие к давлению, гарантируют водонепроницаемость кабельного соединения.

### 14 Уплотнение вала

Чтобы предотвратить попадание перекачиваемой жидкости в двигатель, его вал оснащается механическим уплотнением в месте выхода из корпуса. Там, где это возможно, могут также использоваться обычные уплотнения для вращающегося вала.

## Покрyтия

В дополнение к обычным двухкомпонентным покрытиям (качество: IV30 или IV50 с разрешением на использование при контакте с питьевой водой от федерального ведомства по исследованию и испытанию материалов), на гидравлические элементы внутри насоса (рабочие колеса, камеры ступеней) могут быть нанесены специальные покрытия, например Ceram. Покрытие повышает класс шероховатости, что снижает поверхностную турбулентность потока, повышает КПД, а также снижает интенсивность абразивного воздействия частицами песка, повышает химическую стойкость и адгезионное сопротивление.



Feld 5

Feld 4

Feld 3

Feld 1

Feld 2

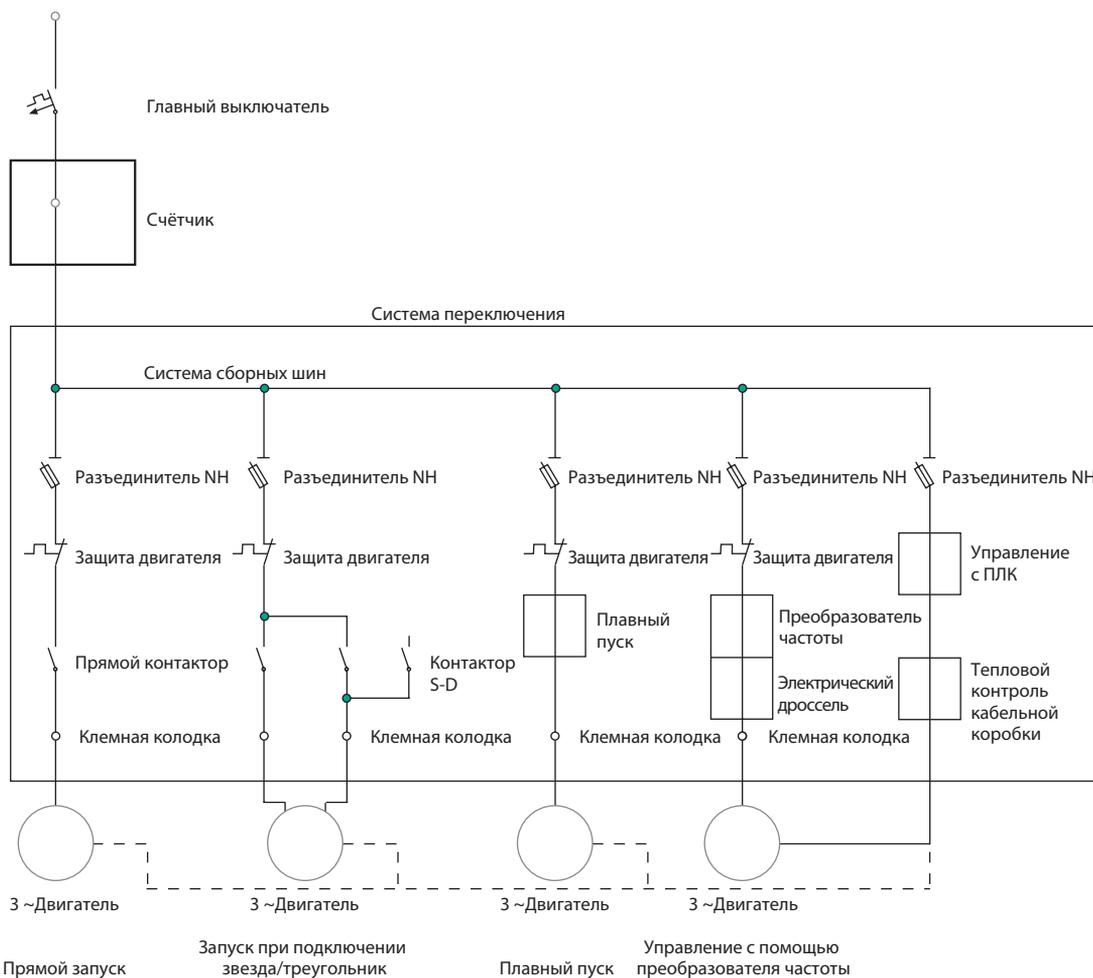
# Основные электротехнические решения

Для надежной и экономичной эксплуатации насосов нового поколения выбор соответствующей системы защиты и управления столь же важен, как и выбор самого насоса. Она применяется и к обеспечению электропитания двигателя, и к контролю насосом.

Следующая глава призвана помочь читателю в организации более правильного проектирования и сборки электрической системы. Глава содержит общие правила и особые соображения, которые следует упомянуть в отношении применения системы. В качестве основы использовались немецкие / европейские стандарты и основные законы.

Схема структуры системы поясняет путь от поставщика электроэнергии к потребителю. Для этого могут быть применены различные типы пуска (активации), которые приведены здесь в качестве примера.

## Схематическая структура системы переключения с различными типами пуска двигателей



# Электрические системы

Электропитание обеспечивается энергетическими компаниями. Они предоставляют потребителю узел подключения, включающий устройство коммерческого учета. При монтаже электрооборудования следует соблюдать технические условия подключения, предоставленные соответствующей энергоснабжающей организацией.

## Тип сети электропитания

В отношении распределения электрической энергии были установлены технические условия, которые определяют структуру магистральной сети, например, DIN VDE 0100 Часть 300.

Типы магистралей отличаются:

- количеством фаз;
- типом напряжения и тока;
- частотой;
- напряжением.

Соответствие этим стандартам гарантирует, что система работоспособна, защитные мероприятия являются эффективными. Системы, которые встречаются на практике, имеют единую идентификацию с помощью буквенных кодов.

Коды имеют следующие значения:

Первая буква:

Соединение с заземлением источника тока.

**T** Непосредственное заземление точки (нейтральная точка трансформатора).

**I** Изоляция всех токоведущих частей от земли, либо подсоединение одной точки для заземления с использованием импеданса.

Вторая буква:

Соединение с заземлением узла электрической системы.

**T** Непосредственное заземление узла, независимо от любого существующего заземления любой точки источника питания.

**N** Узел, связанный непосредственно с эксплуатационным заземлением. В системах переменного тока, нейтральная точка, как правило, является заземленной.

Другие буквы:

Расположение нейтрального проводника и проводника защитного заземления.

**S** Нейтральный проводник и проводник защитного заземления являются отдельными.

**C** Нейтральный проводник и проводник защитного заземления объединены внутри единого провода.

<p><b>Источник питания TN-C</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Заземленная нейтральная точка трансформатора (эксплуатационное заземление)</li> <li>Узел, связанный непосредственно с эксплуатационным заземлением через совмещенный нулевой рабочий и защитный провод (PEN-проводник)</li> <li>Нейтральный проводник и заземляющий проводник внутри всей системы объединены в одном проводе</li> </ul>	
<p><b>Источник питания TN-S</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Заземленная нейтральная точка трансформатора (эксплуатационное заземление)</li> <li>Узел, связанный непосредственно с эксплуатационным заземлением через проводник защитного заземления</li> <li>Нейтральный проводник и проводник защитного заземления разделены внутри всей системы</li> </ul>	
<p><b>Источник питания TN-C-S</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Заземленная нейтральная точка трансформатора (эксплуатационное заземление)</li> <li>Узел, связанный непосредственно с эксплуатационным заземлением через совмещенный нулевой рабочий и защитный провод (PEN-проводник) или проводник защитного заземления</li> <li>Нейтральный проводник и проводник защитного заземления частично разделены или объединены внутри системы</li> </ul>	<p>Заземляющий проводник системы управления электроприводом</p>
<p><b>Источник питания TT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Заземленная нейтральная точка трансформатора (эксплуатационное заземление)</li> <li>Узел с непосредственным заземлением</li> </ul>	
<p><b>Источник питания IT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Узлы системы заземлены</li> <li>Токоведущие части изолированы от земли</li> </ul>	

## Защитные мероприятия (DIN VDE 0100, часть 410)

Различные защитные мероприятия должны предохранить людей и животных от опасных токов, проходящих через тело, или поражения электрическим током.

Следует выполнять два основных мероприятия:

### Защита от прямого контакта

Основная/рабочая изоляция, которая при нормальных условиях препятствует касанию частей, находящихся под напряжением.

### Защита от косвенного контакта

Меры, которые предотвращают контакт с недопустимо высоким напряжением даже в случае повреждения.

Максимальное контактное напряжение:

- Для людей – напряжение переменного тока 50 В или напряжение постоянного тока 120 В.
- Для животных – напряжение переменного тока 25 В или напряжение постоянного тока 60 В.

### Классы защиты:

#### (DIN EN 60529/VDE 0470 Часть 1)

Степень защиты, которую обеспечивает корпус, например, от прямого контакта, определяется кодом IP (International Protection). Обозначение состоит из букв «IP», сопровождаемых двумя цифрами (например, IP 68).

Первая цифра:

- Защита людей от доступа к токоведущим частям.
- Защита оборудования от проникновения внешних твердых частиц.

Вторая цифра:

- Защита оборудования от проникновения воды.

Кодовая цифра	Первая цифра		Вторая цифра
	Защита от контакта	Защита от твердых частиц	Защита от воды
0	Защита отсутствует	Защита отсутствует	Защита отсутствует
1	Защита от контакта с тыльной стороной руки	Защита от твердых частиц диаметром 50 мм	Защита от воды, капающей вертикально
2	Защита от контакта с пальцами	Защита от твердых частиц диаметром 12.5 мм	Защита от воды, капающей под углом (15°)
3	Защита от контакта с инструментами	Защита от твердых частиц диаметром 2.5 мм	Защита от воды, распыляемой под углом до 60°
4	Защита от контакта с проводом	Защита от твердых частиц диаметром 1.0 мм	Защита от брызг с любого направления
5	Защита от контакта с проводом	Защита от пыли	Защита от струй воды
6	Защита от контакта с проводом	Пыленепроницаемый	Защита от сильных струй воды
7	–	–	Защита от временного погружения в воду
8	–	–	Защита от постоянного погружения в воду

### Защита в случае косвенного контакта: (DIN VDE 0100 Часть 410)

Защита в случае косвенного контакта означает, что в поврежденном состоянии не возникает недопустимо высокое контактное напряжение.

Терминология: (DIN VDE 0100 Часть 200).

Защитный заземляющий проводник:

Это проводник, который необходим в системах сетевого питания TN/TT для защитных мер против удара током.

Он устанавливает электрическое подключение к одной из следующих частей:

- корпус электрического оборудования;
- внешние токопроводящие части;
- главный заземляющий зажим, главная заземляющая шина, эквипотенциальная заземляющая шина;
- заземляющий проводник;
- заземленная точка источника тока или искусственная нейтральная точка.

Функция:

В случае повреждения изоляции, проводник защитного заземления гарантирует, что в компоненте оборудования не может возникнуть недопустимо высокое контактное напряжение, а подсоединенная за ним защита от перегрузки по току выключит неисправное устройство. В зависимости от типа электросети, проводник защитного заземления может определяться как «РЕ» или в сочетании с нейтральным проводником как «PEN» (технические условия по DIN VDE 0100 часть 540).

Эквипотенциальное соединение:

Эквипотенциальное соединение выравнивает или почти выравнивает потенциалы узлов электрического оборудования и внешних токопроводящих частей. Так, чтобы другие токопроводящие части (например, трубы или конструкции здания), не проводили никакого недопустимо высокого напряжения в случае повреждения, эти части должны также быть подсоединены к эквипотенциальному соединению.

Следующие части необходимо объединить в эквипотенциальное соединение системы:

- проводник заземления фундамента;
- проводник защитного заземления, или PEN-проводник;
- металлические водопроводные трубы;
- металлические канализационные трубы;
- трубы центрального отопления;
- проводники заземления для воздушных сетей;
- проводники заземления для телефонных сетей;
- металлические части конструкции здания;
- молниеотвод молниезащитного заземления.

### Дополнительная защита с помощью устройства защитного отключения от токов утечки (УЗО):

Устройство защитного отключения обеспечивает лучшую защиту и используется как защитная мера в сетях электропитания различных типов.

Оно обеспечивает дополнительную защиту:

- от непосредственного контакта с активными частями оборудования;
- опасных напряжений в случае косвенного контакта в режиме короткого замыкания;
- возгорания в случае коротких замыканий на землю.

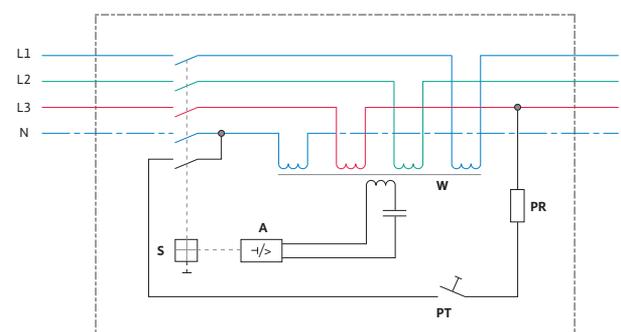
На рисунке показана принципиальная схема устройства защитного отключения. Его самый важный элемент – преобразователь суммарного тока. Он регистрирует входящие и выходящие токи. Если система работает правильно, эти токи равны и генерируют магнитное поле согласно закону Кирхгофа, суммарная величина которого – ноль.

Если по причине повреждения в системе ток течет по проводнику защитного заземления или заземляющему оборудованию (т. е. за преобразователем суммарного тока), в преобразователе суммарного тока индуцируется напряжение, которое включает стрелочный замыкатель.

Это включение имеет место с только очень коротким временем задержки, то есть эффективное время контактного напряжения в случае непосредственного или косвенного контакта сохраняется очень коротким. Это гарантирует лучшую персональную защиту, чем обычные защитные мероприятия (такие как защита от сверхтока).

С точки зрения защиты от возгорания, УЗО также обеспечивает лучшую защиту, чем обычные защитные устройства, так как оно выключается, реагируя на короткие замыкания на заземление, которые находятся ниже порога обнаружения устройств защиты от сверхтока.

### Устройство и функционирование УЗО



S – стрелочный замыкатель  
A – триггер  
W – преобразователь суммарного тока  
PT – кнопка управления  
PR – диагностическое сопротивление

**Молниезащита (DIN EN 62305)**

Электрические системы могут быть защищены от перенапряжений, вызванных ударами молнии или коммутационными перенапряжениями.

Эти перенапряжения могут разрушить электрическое и электронное оборудование и привести к неисправности систем. Следует ли предусматривать систему защиты от удара молнии, зависит от ожидаемого повреждения, которое может быть вызвано в результате удара. Положения стандарта IEC 62305-2 помогают в оценке этого риска.

Систему защиты от удара молнии следует планировать заблаговременно, чтобы понизить затраты на необходимые строительные работы.

Зоны удара молнии:

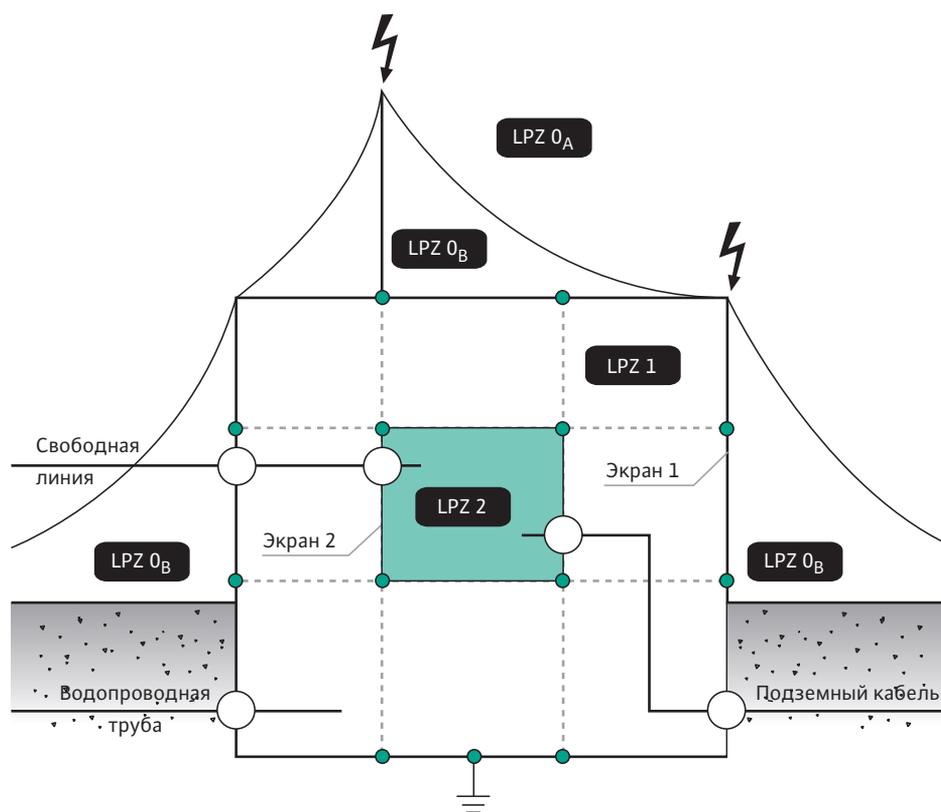
Определены следующие зоны молниезащиты (LPZ) в зависимости от типа угрозы поражения молнией.

→ Внешние зоны: LPZ 0<sub>A</sub> / LPZ 0<sub>B</sub>

Эти зоны относятся к внешним частям зданий, которые подвергаются риску прямых ударов молнии.

→ Внутренние зоны: LPZ 1 / LPZ 2 ... n

Требования к внутренним зонам молниезащиты следует определять согласно прочности защищаемого оборудования. Чем выше защитная зона, тем меньше необходимая электрическая прочность оборудования. Защита от данного уровня напряжения обеспечивается устройствами защиты от импульсных перенапряжений, соответствующими данной зоне.

**SPD – Устройство защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП)**

Эквипотенциальное соединение для входящих линий питания от сети (напрямую или через соответствующие УЗИП): УЗИП (тип 1) необходимо для линий LPZ 0<sub>A</sub>, УЗИП (тип 2) – для других линий



Сеть эквипотенциального соединения

# Однофазный двигатель переменного тока

Кроме трехфазных синхронных двигателей, там, где не требуется высокая мощность, часто используются однофазные двигатели переменного тока. В таких малых системах подсоединение трехфазного тока часто недоступно. Кроме того, во многих случаях однофазная электрическая схема проще.

## Конструкция и функционирование

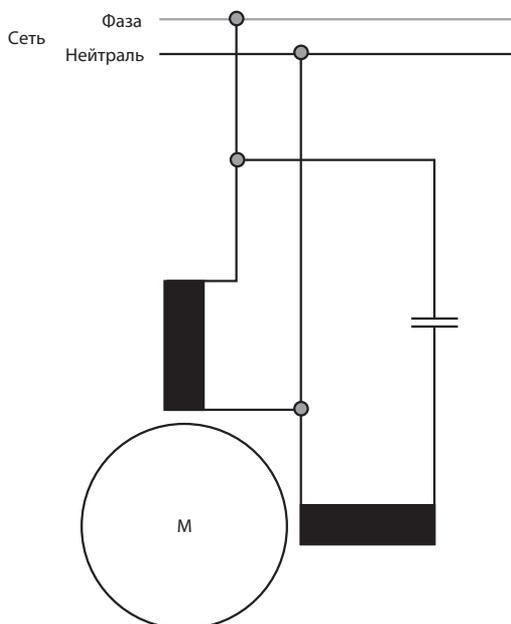
Конструкция и функционирование однофазного двигателя переменного тока для погружных насосов очень немногим отличается от трехфазного двигателя. Подобно ему, однофазный двигатель состоит из пластинчатого пакета статора и короткозамкнутого ротора.

Чтобы создать вращающееся поле, необходимы, по крайней мере, два напряжения со смещением по фазе. Поскольку однофазный переменный ток не обеспечивает этого, следует создать «вспомогательную фазу». Поэтому однофазный двигатель переменного тока имеет не три симметричные обмотки, а одну главную обмотку, которая питается непосредственно от сети, и одну вспомогательную обмотку, смещенную на  $90^\circ$ , к которой, как правило, последовательно подсоединяется конденсатор.

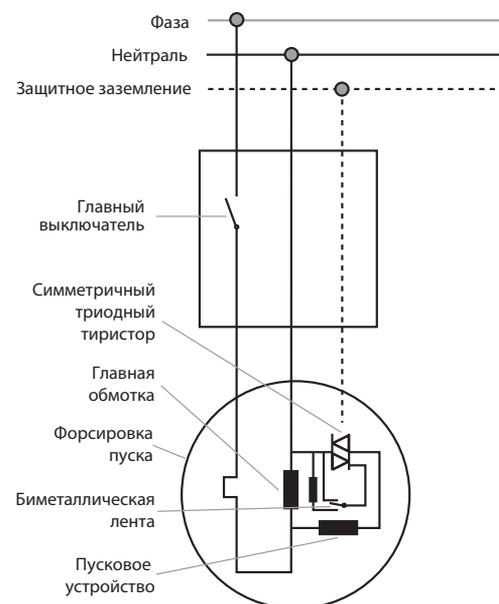
Существуют следующие варианты для создания вспомогательной фазы:

- Двигатель с рабочим конденсатором
- Двигатель с рабочим конденсатором и пусковым конденсатором для увеличения пускового крутящего момента
- Двигатель со вспомогательной фазой, управляемой с помощью электроники.

### Двигатель с рабочим конденсатором



### Двигатель со вспомогательной фазой с электронным управлением



# Трехфазные асинхронные двигатели

Двигатели, которые используются в технологиях забора питьевой воды, как правило, являются асинхронными с использованием короткозамкнутого ротора.

Данная конструкция предлагает определенные преимущества, благодаря которым эти двигатели очень часто используются в приводах:

- Простая и недорогая конструкция.
- Длительный срок службы.
- Низкие эксплуатационные расходы.
- Отсутствие износа щетки.
- Высокая перегрузочная способность в течение коротких периодов времени.
- Запуск без вспомогательных устройств, несмотря на высокие реактивные моменты.

## Общие характеристики конструкции и функционирования

### Конструкция статора

Статор состоит из пластинчатого сердечника с пазами, в которые вставлены обмотки. В трехфазных двигателях эти обмотки состоят из трех фаз, смещенных на 120° вдоль окружности пластинчатого сердечника статора.



### Конструкция ротора

Большинство двигателей имеет обмотку ротора (клетку), состоящую из медных стержней. Пластинчатый сердечник, который несет клетку, также сделан из пластин металла.



#### Примечание:

*Двигатели, имеющие более низкие рабочие характеристики, изготавливаются с обмотками, залитыми герметизирующей смолой. Разделение между обмоткой и ротором, способным работать в жидкой среде, обеспечивается с помощью кожуха.*

### Обмоточный провод

В отличие от стандартных двигателей, в которых обмотки изолируются с помощью эмали, двигатели для погружных насосов оснащаются обмотками, которые способны работать в жидкой среде. Эта конструкция требует специального обмоточного провода

с изоляцией, которая полностью непроницаема для жидкостей. Получаемый эффект охлаждения обмотки позволяет получать большую выходную мощность от малогабаритных двигателей.

Единственное неудобство этой конструкции – более высокая термическая восприимчивость обмотки. Эта проблема особенно сильно сказывается, если ротор заклинивается или в вариантах применения, которые требуют высоких частот переключения.

Кроме того, при работе с преобразователем частоты необходимо принимать специальные меры, потому что обмотки, которые способны работать в жидкой среде, в отличие от двигателей с эмалированной проводкой, более чувствительны к напряжениям, вызванным преобразователем частоты. Поэтому в данном случае для преобразователя частоты необходимо устанавливать соответствующие фильтры на выходе.

В настоящее время используются следующие изолирующие материалы:

- Поливинилхлорид – температурный предел 80 °С.
- PE2 – с температурным пределом 90 °С.



На рисунке показаны различные обмоточные провода – одножильные и многожильные

### Принцип работы

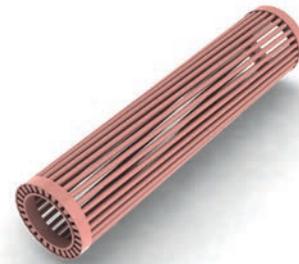
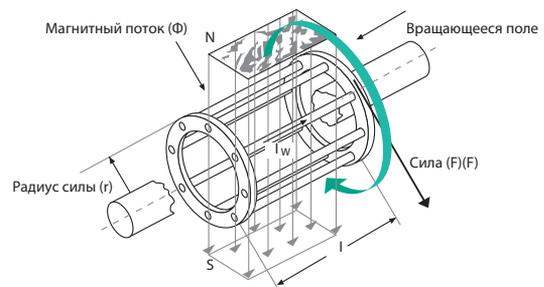
Когда трехфазная токовая обмотка подключена к источнику питания, обмотка статора генерирует магнитное поле, которое вращается с синхронной скоростью. Оно также пересекает клетку ротора, когда отдельные стержни клетки неподвижны, индуцируется напряжение переменного тока с частотой сети последовательно в каждом стержне. Благодаря наведенному напряжению ротора, в роторе течет ток, который генерирует его магнитное поле. Результирующий вращающий момент ускоряет ротор в направлении магнитного поля статора.

Когда ротор вращается с той же скоростью, как и вращающееся поле, то есть на синхронной скорости, вращающий момент равен нулю. Если к ротору приложен противодействующий вращающийся момент, скорость ротора становится меньше, чем у вращающегося поля. Когда стержни клетки опять начинают пересекаться вращающимся полем, возникает напряжение и появляется вращающий момент двигателя. Поэтому в асинхронных двигателях ротор должен вращаться «асинхронно» относительно вращающегося поля статора, чтобы генерировать вращающий момент. Разность в скорости называется проскальзыванием.

### Изменение вращающего момента

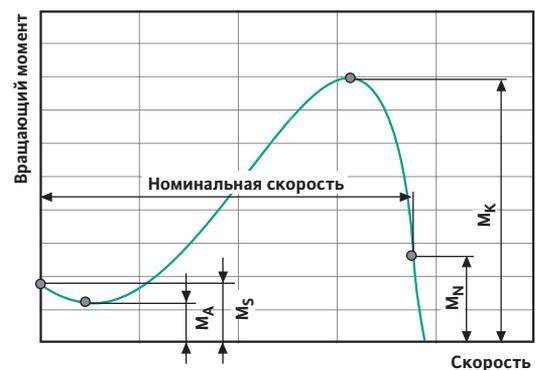
На рисунке показана типовая характеристика изменения вращающего момента двигателя с короткозамкнутым ротором с хорошо выраженным минимальным пусковым моментом. На эту характеристику изменения вращающего момента может влиять форма стержней клетки. Так как кривая насосных характеристик при номинальном вращающемся моменте очень крутая, скорость двигателя почти не изменяется в случае изменения нагрузки.

### Двигатель с короткозамкнутым ротором, показана область возбуждения статора



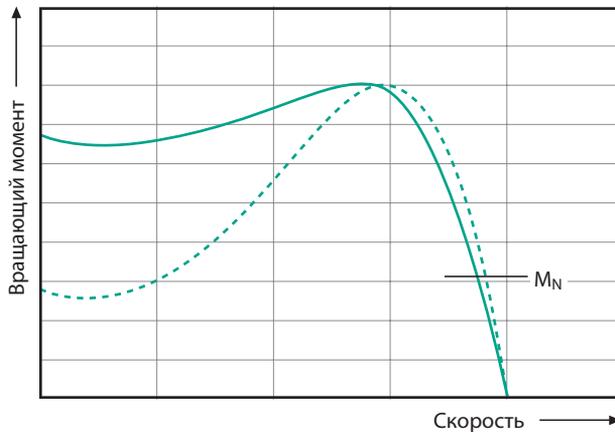
Клетка с набором продольных стержней

### Изменение вращающего момента двигателя с короткозамкнутым ротором

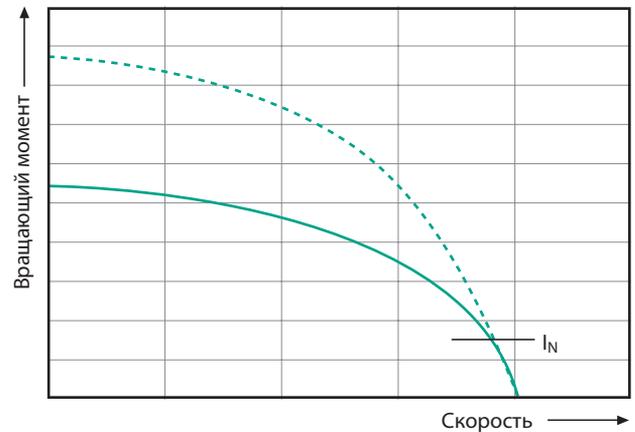


$M_A$  – вращающий момент на заторможенном роторе  
 $M_S$  – минимальный пусковой момент  
 $M_K$  – максимальный вращающий момент  
 $M_N$  – номинальный вращающий момент

### Конкретные величины зависят от формы стержней ротора



----- Ротор с круглыми стержнями  
 ————— Короткозамкнутый ротор



----- Ротор с круглыми стержнями  
 ————— Короткозамкнутый ротор

#### Типовые скорости для частоты сетевого питания 50 Гц

Количество полюсов / количество пар	Синхронная скорость [об / мин]	Скорость при номинальной нагрузке [об / мин]
2/1	3000	приблизительно 2900
4/2	1500	приблизительно 1450
6/3	1000	приблизительно 950
8/4	750	приблизительно 725
10/5	600	приблизительно 575

#### Скорость

Следующая зависимость применяется для вычисления скорости двигателя:

$$n = \frac{f}{p} (1-s)$$

Сокращение	Описание
n	Скорость
f	Частота сетевого питания
p	Количество пар полюсов (половина числа полюсов)
s	Проскальзывание

Для изменения скорости двигателя существуют следующие варианты:

- Увеличение проскальзывания «s» путем понижения напряжения сетевого питания.
- Изменение количества пар полюсов.
- Изменение частоты сетевого питания «f», которое обычно достигается при использовании преобразователя частоты.

## Способы запуска

Недостаток асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором – относительно высокий пусковой ток, который может быть в 4–8 раз больше номинального тока. Чтобы предотвратить вредные колебания напряжения при включении двигателя, энергоснабжающие организации определяют меры по ограничению пускового тока.

Понижение пускового тока может быть достигнуто путем понижения напряжения статора. Исключением из этого правила является работа с частотным преобразователем. Ниже описываются нормальные методы запуска.

### Прямой пуск

Прямой пуск – самый простой способ включения путем подсоединения непосредственно к источнику питания.

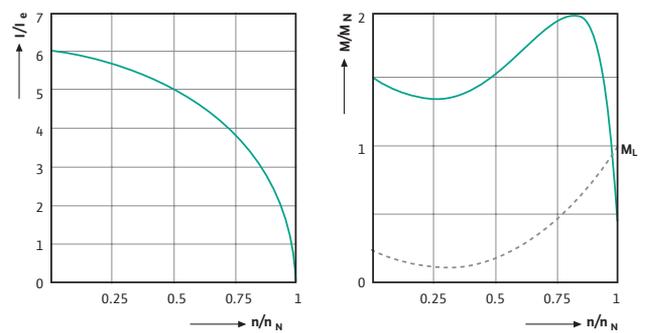
#### Преимущества

- Требуется наличие двигателя с 3 соединениями.
- Простое распределительное устройство.
- Недорогой.
- Высокий пусковой крутящий момент.

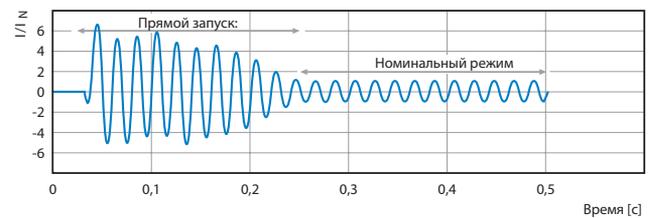
#### Недостатки

- Высокий пусковой ток.
- Высокая нагрузка механических узлов.
- Подходит только для малой и средней мощности.

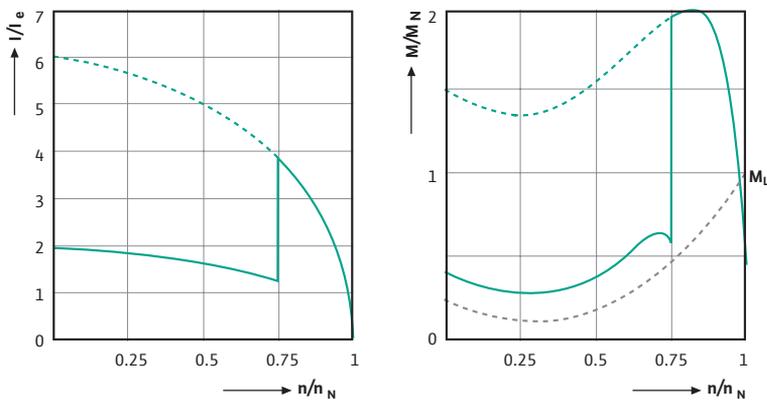
### Кривая зависимости ток / обороты – момент / обороты



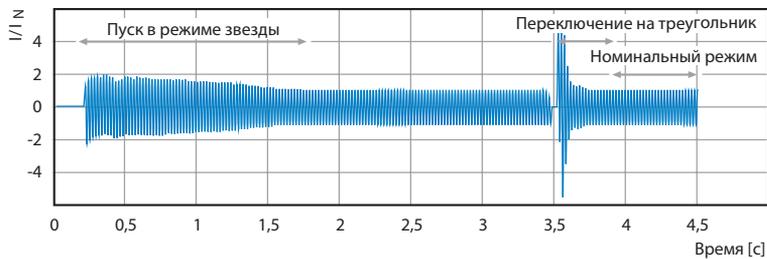
### Зависимость тока от времени для прямого запуска



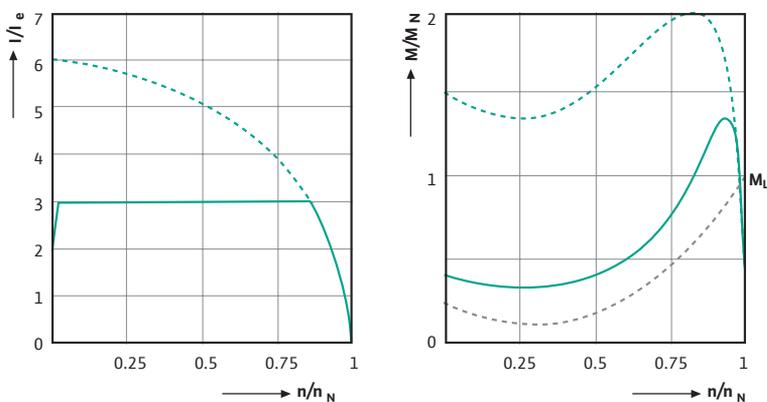
## Кривая зависимости ток / обороты – момент / обороты



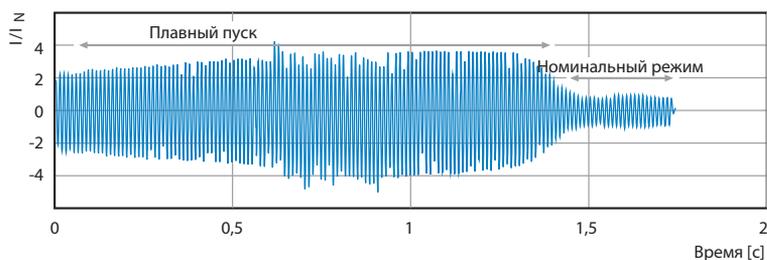
## Зависимость тока от времени для пуска путем переключения со звезды на треугольник



## Кривая зависимости ток / обороты – момент / обороты



## Зависимость тока от времени для пуска с плавным пускателем



## Пуск путем переключения со звезды на треугольник

Запуск трехфазных двигателей, использующих переключение со звезды на треугольник, вероятно, самый знакомый и распространенный вариант. Он используется для трехфазных двигателей в диапазоне от низкой до высокой мощности.

## Преимущества

- Простое распределительное устройство.
- Недорогой.
- Более низкий пусковой ток по сравнению с прямым запуском.

## Недостатки

- Требуется шесть подсоединений к двигателю.
- Пониженный пусковой крутящий момент.
- Пиковый рост тока при переключении со звезды на треугольник.
- Механические нагрузки при переключении со звезды на треугольник.

## Примечание:

В зависимости от конструкции ток переключения со звезды на треугольник для погружных насосов может на короткий период времени быть больше, чем прямой пусковой ток. Следует принять специальные меры в отношении устройств, предназначенных для работы в аварийных ситуациях

## Устройство плавного пуска (электронный пуск двигателя)

Плавный пуск, который приспособлен к нагрузке машины, непрерывно увеличивает напряжение двигателя. Таким образом, двигатель может ускоряться без механических ударов и пиков тока. Плавные пускатели – это электронная альтернатива традиционному переключению со звезды на треугольник.

## Преимущества

- Отсутствуют пики тока.
- Не требует обслуживания.
- Пониженный и регулируемый пусковой крутящий момент.
- Регулируемый предел тока.
- Требуется наличие двигателя с 3 соединениями.
- Плавный запуск и останов.

## Недостатки

- Весомые затраты в случае низкой мощности.
- Дополнительное рассеяние мощности, если плавный пуск не отключается после запуска.

## Преобразователь частоты

Преобразователь частоты главным образом используется в случаях, когда требуется привод с регулируемой скоростью.

Благодаря опции управления по выходной частоте, двигатель может плавно запускаться и останавливаться в соответствии с параметрами гидравлической системы. Этот вариант также означает, что во время фазы запуска не могут быть превышены величины токов или вращающих моментов (два примера на диаграмме).

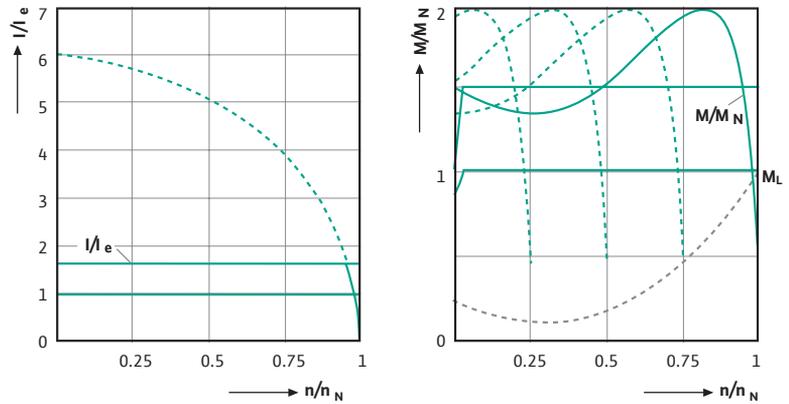
### Преимущества

- Регулирование и управление скоростью в соответствии с эксплуатационными потребностями.
- Регулируемый предел тока.
- Работа в 4 квадрантах.
- Отсутствие износа.
- Обширные возможности защиты двигателя.

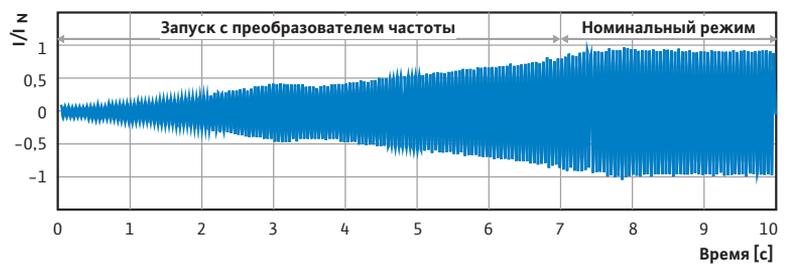
### Недостатки

- Высокая стоимость.
- Дополнительные потери мощности.
- Возможны дополнительные затраты для выполнения мер по ЭМС (электромагнитной совместимости).

## Кривая зависимости ток / обороты – момент / обороты



## Зависимость тока от времени для пуска с преобразователем частоты (вход на преобразователь частоты)



## Рабочие режимы

Рабочий режим определяет допустимую продолжительность включенного состояния для двигателей. Погружные насосы предназначены для постоянного режима работы S1. Обратите внимание, что рассматриваемые двигатели должны работать только в погруженном состоянии!

### S1 – постоянный режим работы

Определение:

Работа при постоянной нагрузке, при которой двигатель достигает теплового равновесия.

Двигатель проектируется таким образом, что при указанных условиях охлаждение является достаточным. Если на заводской табличке машины рабочий режим не указан, применяется постоянный режим работы S1.

### Другие рабочие режимы

Другие рабочие режимы, такие как

→ S2 кратковременный режим,

→ S3 периодический режим,

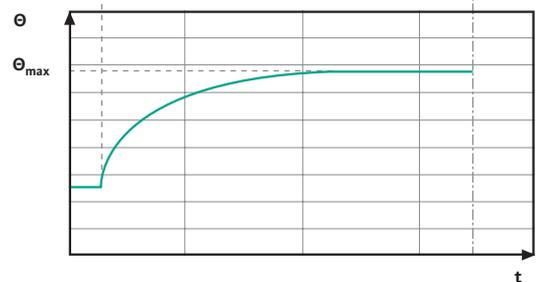
практически не применяются в технологиях эксплуатации буровых скважин.

### Максимальная частота переключения:

В дополнение к рабочему режиму двигателя, нужно также учесть максимальную частоту включения. Обычно выражается как число включений в час. Если эта величина превышена, температура двигателя растет, а срок службы двигателя снижается.

*Следует обратиться  
к технической документации  
на конкретное изделие*

### S1 – постоянный режим работы



$P$  – нагрузка  
 $P_v$  – электрические потери  
 $\Theta$  – температура  
 $\Theta_{max}$  – максимальная температура  
 $t$  – время

# Определение защиты и выбор кабеля

## Защита двигателя

Для надежной эксплуатации двигателя его следует защищать от перегрева. Перегрев может возникнуть по причине сбоев, которые увеличивают ток двигателя:

- перегрузка;
- отключение или перекос фаз;
- пониженное напряжение;
- заклинивание.

Эти сбои могут быть обнаружены реле тепловой защиты или защитным выключателем двигателя, которые после этого выключают двигатель. Реле тепловой защиты и защитный выключатель двигателя могут быть настроены только на одно значение расчетного тока.

### Тепловое реле защиты двигателя

Принцип действия:

Тепловая защита осуществляется посредством биметаллических лент, которые нагреваются от обмоток накала, по которым течет ток двигателя.

Для каждой обмотки двигателя обеспечивается отдельная биметаллическая лента с соответствующей нагреваемой обмоткой накала. Если потребление тока какой-либо обмотки двигателя в течение нескольких секунд превышает указанную величину, биметаллический механизм переключения выключает контактор двигателя. Двигатель также выключается спустя короткое время в случае отключения фазы (происходит неравномерное нагревание биметаллических лент). В случае теплового срабатывания, выключатель может быть вновь включен только после того, как остынут биметаллические ленты. Тепловое реле не выключает двигатель непосредственно, т.к. биметаллические контакты имеют небольшую коммутационную способность. Их контакт используется для активирования контактора, который выключает двигатель. В отличие от защитного выключателя, реле защиты двигателя не имеет устройства срабатывания при коротком замыкании. Именно поэтому в линии питания одного или нескольких двигателей, которые защищают с помощью реле защиты, следует установить плавкие предохранители. В случае применения теплового реле защиты двигателя, может быть вручную или автоматически установлен повторный запуск. Повторный запуск следует выполнять вручную, чтобы предотвратить постоянное включение и выключение двигателя в случае неисправности.

### Защитный выключатель двигателя

Защитные выключатели двигателя могут использоваться для включения и выключения двигателей. Тепловое устройство срабатывания работает по тому же правилу, как и реле защиты двигателя. Однако оператор может выключить двигатель во время работы или в случае повреждения. Кроме того, большинство защитных выключателей также имеет электромагнитный механизм быстрого срабатывания, который предохраняет контур за выключателем и двигатель от коротких замыканий.

В пределах малых амплитуд тока эти выключатели защищены от короткого замыкания, то есть к ним не требуется подсоединять аварийный плавкий предохранитель.

Другие отклонения от нормального состояния, которые могут привести к увеличению температуры мотора:

- сухой ход двигателя, который должен работать только в погруженном состоянии;
- недопустимо высокая температура жидкости / окружающей среды;
- отложения на двигателе.

Эти отклонения прямо не влияют на потребление тока двигателем и поэтому не могут быть обнаружены защитой от перегрузок, подсоединенной перед двигателем. Для этих типов сбоев используются температурные датчики, встроенные в узел, который подлежит защите.

## Защита двигателей плавким предохранителем

### Ниже приводятся справочные величины номинальных токов двигателя и минимально возможного «медленного перегорания» или gL короткого замыкания плавких предохранителей

Номинальные токи двигателя применяются к нормально функционирующим трехфазным двигателям с внутренним и поверхностным охлаждением.

Прямой пуск:

Плавкие предохранители применяются для указанных номинальных токов двигателя с прямым пуском: максимальный пусковой ток в 6 раз превышает расчетный ток двигателя, максимальное пусковое время – 5 с.

Запуск с переключением YΔ:

Максимальный пусковой ток в 2 раза превышает расчетный ток двигателя, максимальное пусковое время = 5 с. Установите реле перегрузки для каждой фазы на величину  $0.58 \times$  значение расчетного тока двигателя. Для двигателей с более высоким расчетным током, более высоким пусковым током и / или более длительным пусковым временем требуется подсоединение более мощных предохранителей от короткого замыкания.

*В приложении приведена таблица «Справочные величины для трехфазных двигателей».*



## Контрольные устройства

Встроенные контрольные устройства предназначены для защиты двигателя от избыточных температур в обмотках.

Применяемые датчики зависят от мощности и типа двигателя. Отдельные датчики с соответствующими реле описаны ниже.

### Краткий обзор контрольных устройств

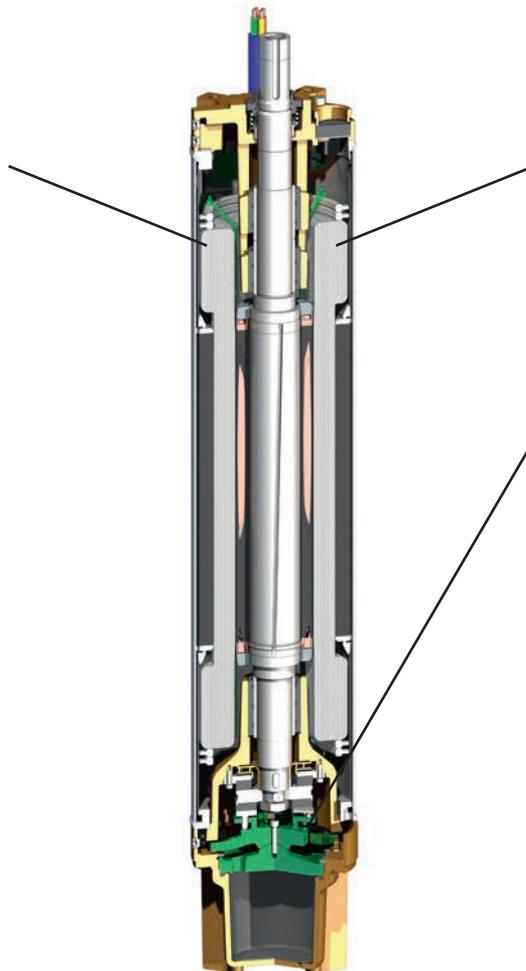
#### Датчики температуры РТС

Контроль пороговой температуры обмоток статора



#### Датчики температуры РТ100

Линейный контроль температуры обмоток статора, опционально температуры подшипника



*Примечание:  
Для двигателей малого размера температура обмоток измеряется косвенным образом в отделении двигателя.*

### Датчик температуры РТС

Описание:

Полупроводниковые датчики РТС являются датчиками температуры с терморезистором, который имеет положительный температурный коэффициент. Они не имеют механических узлов. При достижении номинальной температуры срабатывания (NAT) электрическое сопротивление датчиков резко увеличивается. Это изменение оценивается электронным переключающим устройством. (Реле). 3 температурных датчика последовательно установлены в обмотке мотора. В больших двигателях и специальных версиях имеется 2 температурные цепи, каждая со своей температурой выключения (например, 130–140 °С). Для каждой температурной цепи требуется свое реле (например, Wilo-MSS).

Применяется для:

→ Контроля температуры обмотки двигателей.

Преимущества:

- Очень малый размер.
- Малое время срабатывания (также называется полная защита двигателя).
- Длительный срок службы.
- Стандарт в соответствии с DIN 44081/44082.

Недостатки:

- Обязательно необходимо специальное реле.
- Переключающая температура фиксирована конструкцией датчика.
- Не всегда гарантируется защита от блокирования работающих в жидкости обмоток.

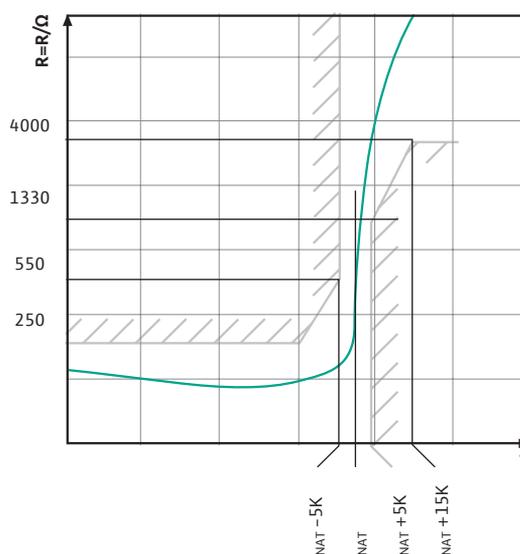
Технические данные:

- Максимальное напряжение управления <7,5 В.
- Сопротивление холодного термоатода – одинарный / строенный: 80–250 / 250–750 Ом.
- Сопротивление при NAT > 1300 Ом.

Обозначение контрольной линии:

- 10–11 – выключение;
- 10–12 – предупреждение.

Датчики РТС должны использоваться для взрывозащищенных двигателей, управление которыми осуществляется с преобразователем частоты.



Датчик температуры с терморезистором с положительным температурным коэффициентом / РТС

### Датчики температуры Pt 100

Описание:

Датчики PT 100 представляют собой температурно-зависимые сопротивления с почти линейной кривой характеристик.

При 0 °C сопротивление равно 100 Ом.

Разность сопротивления между 0 и 100 °C равна 0,385 Ом/К.

Это изменение измеряется электронным реле (например, Wilo-DGW 2.01 G). Температура срабатывания определяется настройкой реле, а не датчика. В дополнение может измеряться величина температуры.

Применяется для следующих условий и задач:

- Медленно растущих температур, например, там, где охлаждение затруднено отложениями.
- Определения перегрузки.
- Определения недопустимой температуры окружающей среды.
- Длительного времени работы в режиме S2 (кратковременный режим).

Преимущества:

- Параметры контроля могут быть точно настроены в соответствии с рабочей температурой.
- В каждом датчике можно настроить несколько точек переключения.
- Дополнительная индикация температуры.

Недостатки:

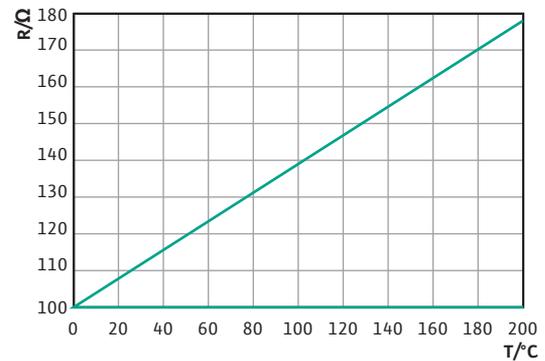
- Необходимо дополнительное реле PT 100.
- Датчик и устройство измерения относительно дороги.

Технические данные:

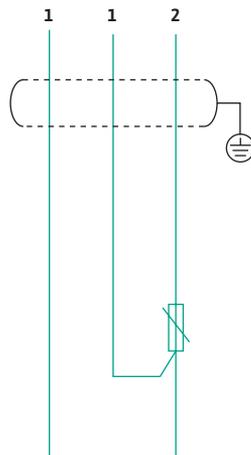
- Сопротивление при 0 °C: 100 Ом.
- Изменение сопротивления: ~ 0,385 Ом/К.
- Измерительный ток: <3 мА.

Обозначение контрольной линии: 1-2.

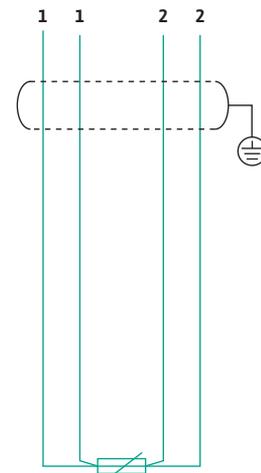
Если соединительный кабель имеет большую длину, цепь обычно подключается в форме трех- или четырехпроводного переключения для компенсации погрешности, вызванной сопротивлением кабеля. Фактически все измерительные реле PT 100 поддерживают эти варианты соединения.



Датчик температуры PT 100



Трехпроводная цепь PT 100



Четырехпроводная цепь для PT 100

### Контрольные реле

Для измерения показаний описанных выше датчиков предлагаются контрольные реле. Их некоторые типы приведены ниже.

Контрольное реле	Применение	Описание функции	Другие функции
<p>Реле PTC Wilo-MSS.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Соединение датчиков температуры PTC.</li> <li>→ Соединение биметаллических датчиков температуры.</li> <li>→ Оценка состояния других переключающих контактов, например, поплавковых датчиков протечки.</li> </ul>	<p>Реле используется для контроля температуры с перезапуском блокировки.</p> <p>До шести PTC-датчиков могут быть подсоединены последовательно.</p> <p>Если температура восстанавливается и реле отключается, то факт срабатывания запоминается (индикатор продолжает гореть) до момента квитирования ошибки (нажатием кнопки).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Одобрено при работе с двигателями во взрывобезопасном исполнении.</li> <li>→ Наличие кнопки сброса.</li> </ul>
<p>Реле PT 100 Wilo-DGW 2.01.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Контроль температуры обмотки.</li> <li>→ Контроль температуры подшипника.</li> </ul>	<p>Реле измеряет сопротивление датчика температуры PT 100 и показывает измеренную температуру непосредственно на индикаторе.</p> <p>Имеется возможность конфигурирования двух предельных величин для заблаговременного предупреждения и деактивации.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Индикатор для прямого указания температуры и конфигурации.</li> <li>→ Кнопки для ввода значений.</li> <li>→ Настраиваемая реакция в случае отказа датчика.</li> <li>→ Соединение в 3-х или 4-х проводную схему для линейной компенсации.</li> </ul>

## Кабели / линии

При выборе кабелей следует соблюдать следующие требования (выбор согласно параметрам влияния окружающей среды,

DIN VDE 0100, Часть 300):

- температура окружающей среды;
- внешние источники теплоты;
- присутствие воды;
- присутствие примесей;
- присутствие корродирующего вещества или загрязняющих веществ;
- механическая нагрузка;
- колебания;
- другие механические напряжения;
- присутствие растений и / или образование плесени;
- присутствие животных;
- воздействие солнечных лучей;
- воздействие землетрясений;
- ветер;
- конструкция здания.

Кабель для скважин должен применяться исключительно одобренный для питьевой воды. Этот же кабель пригоден и для других применений:

### Области применения:

Питьевая вода	H
Грунтовая вода	+
Морская вода	+
Дождевая вода	+
Поверхностные воды	+
Сточные воды	-
Канализационные воды	-
Техническая вода	+
Охлаждающая вода	+
Смешанная вода	o
Вода подземной добычи	-
Строительные площадки	-
Негорючие	-
Температура применения	60 °C

*H = основная область применения, + = соответствует, o = соответствует ограниченно, - = не соответствует*

### Типовые сокращения для кабелей и линий

<b>Код нормы</b>		
Согласованная норма	H	
Одобрённый на национальном уровне тип	A	
<b>Номинальное напряжение U<sub>0</sub>/U</b>		
300/300 В	03	
300/500 В	05	
450/750 В	07	
<b>Материал изоляции</b>		
Поливинилхлорид	V	
Натуральный и/или стирол-бутадиеновый каучук	R	
Силиконовый каучук	S	
<b>Материал оболочки</b>		
Поливинилхлорид	V	
Натуральный и/или стирол-бутадиеновый каучук	R	
Полихлоропреновый каучук	N	
Оплетка из стекловолокна	J	
Тканевая оплетка	T	
<b>Характеристики при установке</b>		
Ровная, делимая линия	H	
Ровная, неделимая линия	H2	
<b>Тип проводника</b>		
Одножильный	U	
Многожильный	R	
Тонко скрученный многожильный для линий постоянной установки	K	
Тонко скрученный многожильный для гибких линий	F	
Очень тонко скрученный многожильный для гибких линий	H	
Многожильный кабель повышенной гибкости	Y	
<b>Количество проводов</b>	...	
<b>Проводник защитного заземления</b>		
Без проводника защитного заземления	X	
С проводником защитного заземления	G	
<b>Номинальное сечение проводника</b>	...	
<b>Примеры полных обозначений линии:</b>		
Электропровод с изоляцией из поливинилхлорида сечением 0.75 мм <sup>2</sup> , тонко скрученная многожильная, черного цвета: H05V-K 0.75		Тяжелый кабель с каучуковой изоляцией, 3-жильный, сечение 25 мм <sup>2</sup> без проводника заземления: A07RN-F3X2.5



Существуют различные типы конструкции магистральных кабелей для погружных насосов:

#### Круглые кабели

→ Стандартные кабели.



#### Плоские кабели

→ Те же характеристики, что у круглых кабелей.

→ Используются там, где пространство внутри скважины ограничено.



#### Экранированные кабели

→ Для использования вместе с преобразователями частоты.

→ Также предлагаются экранированные контрольные кабели.

### Общие характеристики

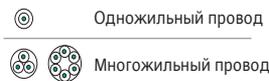
Конструкция	Кабель с изоляцией из этилен-пропиленового каучука, гидростойкий (Т)
Номинальное напряжение	U 0 / U 450 / 750 В
Максимальная рабочая температура	60 °С
Максимальная рабочая температура в проводнике	90 °С
Примечания	Пригодность использования в воде были проверены путем испытаний.
Место применения	В грунтовой и питьевой воде на глубинах до 500 м. Также может использоваться в технической воде, воде для нужд охлаждения, поверхностных и дождевых стоках, в морской воде. При определенных условиях может использоваться в комбинированных сточных водах, но не в хлорированной воде. Может использоваться в закрытом помещении и на открытом воздухе, но не в потенциально взрывоопасных областях.
Допустимая нагрузка	Для средних механических нагрузок при подсоединении электрического оборудования. В частности, для устройств, которые постоянно используются в воде, например, погружные насосы, подводные прожекторы. Для температуры воды до 60 °С.

## Допустимый номинальный ток кабеля (DIN VDE 0298 Часть 4)

Необходимо принимать во внимание следующее:

- нагрузка в непрерывном режиме работы;
- нагрузка в случае короткого замыкания;
- предполагается, что силовой кабель используется по целевому назначению;
- рассматриваются только проводники, несущие рабочий ток;
- принята симметричная нагрузка;
- приняты самые неблагоприятные рабочие условия и самое неблагоприятное направление прокладки кабеля.

Проводник защитного заземления считается нагруженным проводом и может всегда устанавливаться рядом.



### Токонесущая способность кабелей H07RN-F (Ozofex Plus), NSSHÖU и S07BB-F, S07BBH2-F (гидроустойчивые кабели) в непрерывном режиме работы температуры окружающей среды до 30 °C и температуры проводника до 90 °C

Прямое включение								
Промежуток:	1	2	3	4	5	6	7	8
Типы монтажа для 3 нагруженных проводов								
Включение УΔ или 2 кабеля параллельно								
Типы монтажа для 6 нагруженных проводов								
Номинальное сечение $t$ медный провод [мм <sup>2</sup> ]	Допустимая нагрузка (А)							
1,5	35	33	31	29	28	23	19	18
2,5	45	43	40	38	36	30	25	24
4	62	59	54	52	49	41	34	32
6	80	76	70	68	64	53	45	42
10	111	106	97	94	88	74	63	59
16	149	141	131	126	119	99	84	79
25	197	187	173	167	157	131	111	104
35	244	231	214	207	195	162	137	129
50	304	289	267	258	243	202	171	161
70	376	357	331	319	300	250	212	200
95	453	430	398	385	362	301	255	240
120	529	503	465	449	423	352	299	281
150	608	577	535	516	486	404	343	323
185	693	659	609	589	554	461	391	368

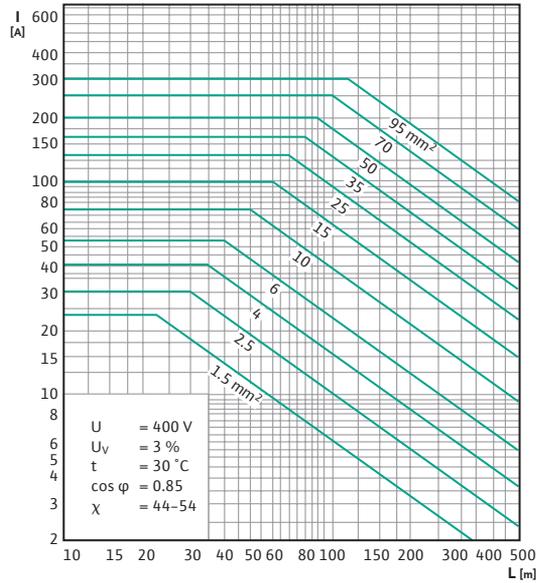
В случае, если температура окружающей среды отличается от 30 °C, допустимые нагрузки следует умножить на коэффициент  $f$ :

°C	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
$f$	1.15	1.12	1.08	1.04	1.00	0.96	0.91	0.87	0.82	0.76	0.65	0.58	0.50

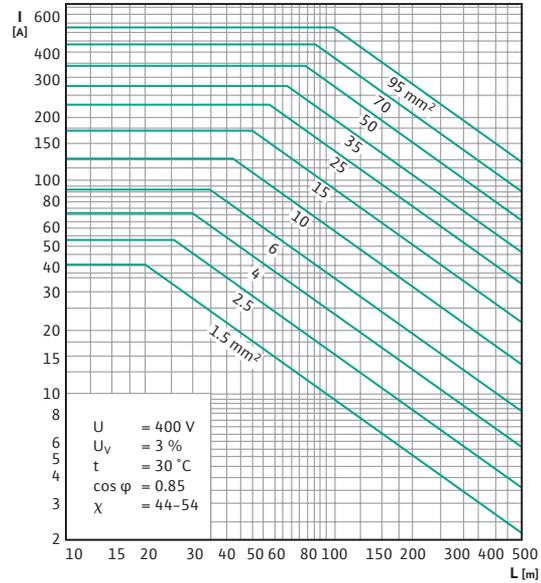
При определении поперечного сечения провода следует основываться на падении напряжения, не превышающем 3%.  
Выбирая сечение, следует дополнительно принять во внимание нормы местных поставщиков электроэнергии.

## Определение сечения или выбор кабеля по длине (L) и току (I)

### Прямой пуск, многожильный кабель



### Пуск с переключением со звезды на треугольник, многожильный кабель



### Формулы расчета

#### Падение напряжения:

$$U_D = \frac{C \cdot I \cdot L_c \cdot \cos \varphi}{A \cdot U} [\%]$$

#### Рассеяние мощности:

$$P_D = \frac{U_D}{\cos \varphi^2} [\%]$$

#### Вычисление для других рабочих напряжений:

$$L_{\text{Diagram}} = \frac{400}{U} \cdot L_c$$

Сокращение	Описание
A [мм <sup>2</sup> ]	Сечение провода
C	Прямой пуск и пусковой трансформатор: 3.1 Прямой пуск, 2 параллельных кабеля: 1.55 Пуск с переключением со звезды на треугольник: 2.1
I [A]	Расчетный ток
L [m]	Длина одножильного кабеля (для выбора диаграммы)
L <sub>c</sub> [m]	Текущая длина кабеля
P <sub>D</sub> [%]	Рассеяние мощности
U [V]	Напряжение питания
U <sub>D</sub> [%]	Падение напряжения
cos φ	Коэффициент мощности при данном токе

# Технология управления

## Системы измерения уровня в скважине

Поскольку погружные насосы не должны работать всухую, системы измерения уровня служат прежде всего как защита от сухого хода. Кроме того, использование измерения уровня вместе с преобразователем частоты также позволяет поддерживать постоянный уровень воды в скважине. В зависимости от условий применения доступны различные системы.

### Установка

Устанавливая и задавая параметры защиты от сухого хода, следует принять меры для того, чтобы гарантировать необходимый минимальный уровень воды над насосом!

### Электроды

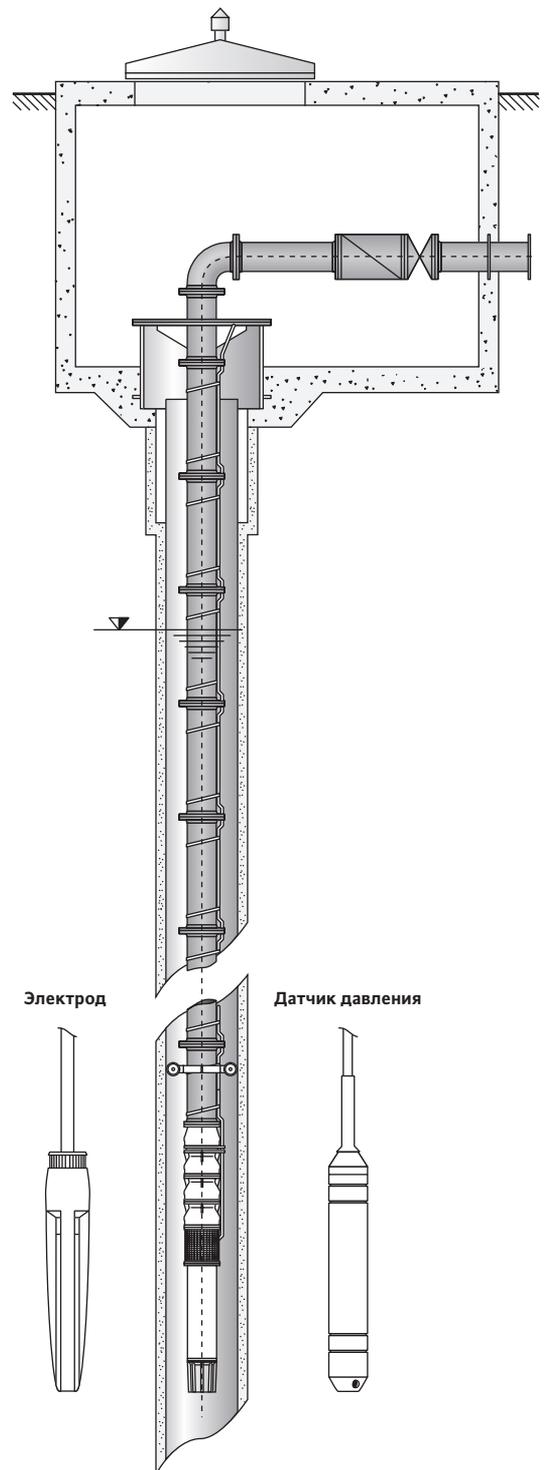
#### (методика измерения проводимости)

В этом случае погружные электроды связаны с измерительным реле. Реле определяет наличие или отсутствие жидкости, исходя из сопротивления. На большинстве реле может быть задана чувствительность срабатывания электрода. Может быть установлен заземляющий электрод и, кроме того, электроды в различных точках переключения.

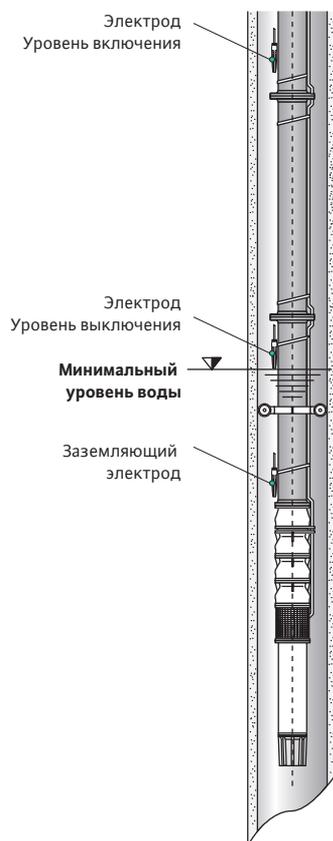
### Датчик давления

#### (методика измерения гидростатического давления)

Датчик давления измеряет гидростатическое давление в точке установки. Давление действует на диафрагму и преобразуется непосредственно в электрический сигнал датчиком давления. Этот сигнал указывает на уровень воды над точкой установки датчика и таким образом может использоваться для защиты от сухого хода и для целей управления.



### Пример установки электродов



### Пример установки датчика давления



## Система управления – решения специально под нужды клиента

#### Примечание:

Стандартная гамма распределительных устройств Wilo приведена в каталогах продукции.

#### Современная система с технологией удаленного управления и диагностики

В дополнение к обеспечению надежного контроля машин современные системы управления также обеспечивают из любой точки мира удаленный доступ через системы связи GSM или GPRS (сервис передачи данных).

Благодаря этим современным системам, удаленное обслуживание и обнаружение ошибок не представляет трудностей.

В частности, операторы городских установок водоснабжения сталкиваются с проблемой необходимости контроля и управления широко разветвленными узлами системы. Однако стандартное решение по использованию удаленных технологий в данном случае отсутствует. Следует разработать концепцию, которая будет оптимизирована для имеющейся системы посредством маршрутов коммуникации.

В основном различаются два типа связей:

#### Беспроводная связь

Передача данных по радиоканалу

Передача данных с использованием технологии радиоинтервалов

Передача данных через GSM/SMS

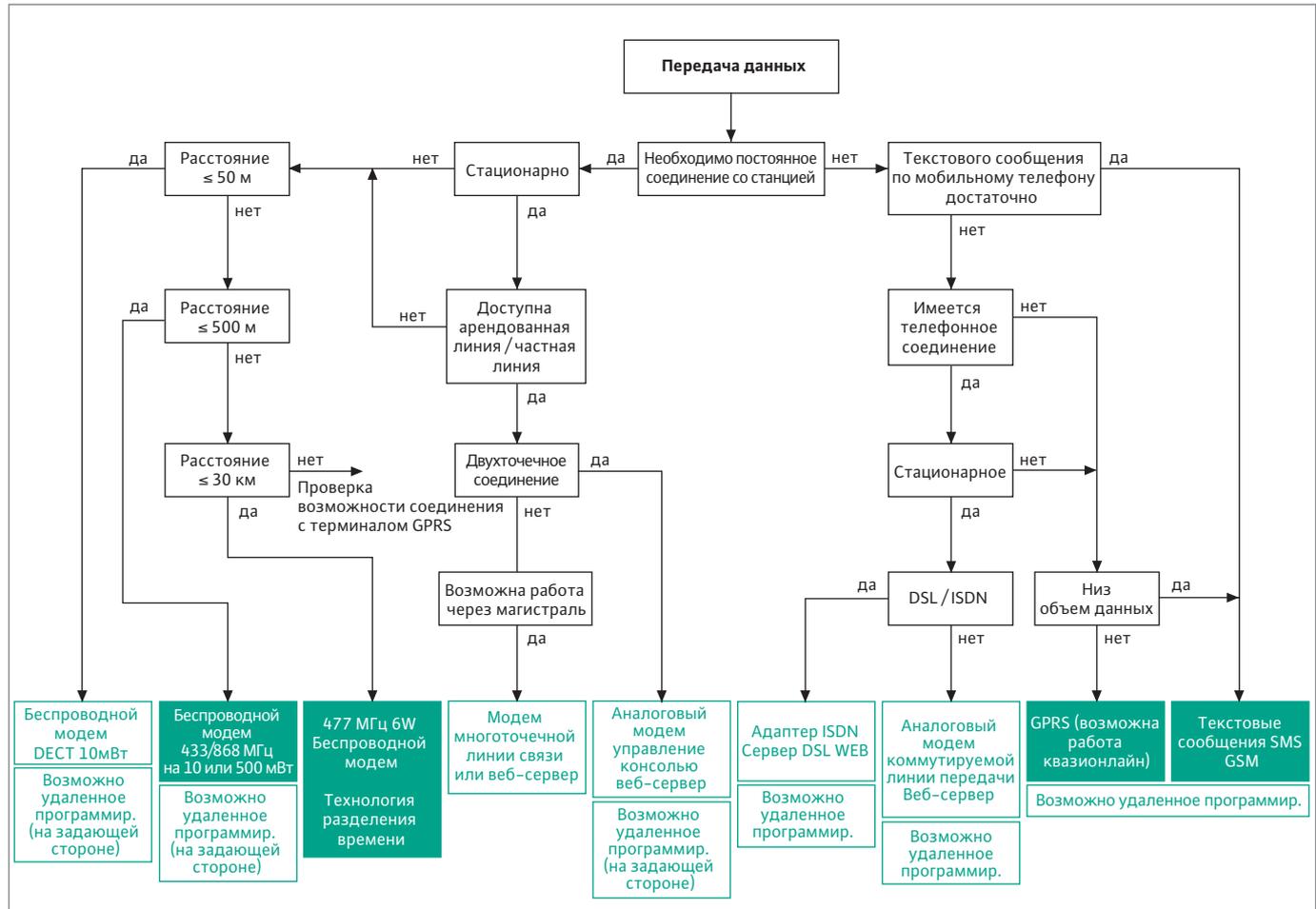
Передача данных через GSM/GPRS

#### Проводная связь

Передача данных через телекоммуникационный кабель

Передача данных через магистральную шину

Выбор выполняется согласно следующим критериям:



Системы, приведенные на зеленом фоне, главным образом используются для подачи сточных вод. Объем данных, любые данные в реальном времени, расстояние для передачи и всех маршрутов передачи и затрат требуют специального внимания. Для передачи на короткие расстояния особенно подходят следующие технологии: 868 МГц, WLAN (устойчивые к помехам) и Bluetooth.

Для наружной установки применяются следующие варианты.

Для приема в режиме GSM обычно самым эффективным с точки зрения затрат средством передачи является GPRS. Для коротких расстояний (до 500 м) также подходит технология передачи на частоте 868 МГц, если данные не требуется передавать в режиме реального времени.

Для вариантов наружной установки, где отсутствует возможность приема сигнала GSM, возможно, лучшим решением является технология с разделением времени с передачей по радиоканалу.

*Другие критерии для принятия решения:*

*Желательный протокол передачи, передача значений с меткой времени, соединение с центром управления, удаленное программирование и т.д.*

Если нужно посылать только простые сигналы о неисправностях, то достаточно GSM-передатчиков данных о неисправностях на базе SMS. Затраты на GPRS находятся в том же диапазоне, если идет информирование только одного центра управления. Если нужно, например, также послать текстовые сообщения SMS, используя средства мобильной связи промышленных электриков, то следует предпочесть передатчики о неисправностях на основе SMS GSM. Передача SMS-сообщений может также быть осуществлена частями через устройства GPRS, однако только за дополнительную плату.

Надежность: системы радиопередачи, основанные на GPRS, более надежны, чем передача текстовых сообщений SMS, которые иногда могут идти со значительной задержкой.

Реальное время: связь по WLAN и Bluetooth фактически способна осуществляться в реальном времени (задержка порядка нескольких миллисекунд), близка к этому и GPRS (задержка приблизительно 2–4 с.). Во всех других системах это зависит от разрешенного «рабочего цикла» и наличия радиосот.

**Передача данных по радио****Штатный радиоканал на объекте 433 МГц:**

- Излучаемая мощность до 10 мВт, дальность связи 600 м (линия прямой видимости).
- Затраты на передачу отсутствуют, данный способ в настоящее время не рекомендуется применять для промышленного использования, так как эта технология используется для управления гаражными дверями, некоторыми моделями автомобилей и т.д., что приводит к потенциальному возникновению радиопомех.
- В качестве варианта: штатный радиоканал на объекте 868 МГц.

**Штатный радиоканал на объекте 868 МГц:**

- Излучаемая мощность 10–500 мВт, дальность 500–3000 м (линия прямой видимости).
- Типовые применения: насосные установки на малом расстоянии от центра управления.
- Преимущество: низкие затраты на приобретение и эксплуатацию, подходят для питания от солнечных батарей.
- Недостатки: возможна передача только на короткие расстояния, ограничение передачи по времени.
- В качестве варианта: GPRS, очень низкие затраты на приобретение, низкие эксплуатационные расходы, средние издержки передачи.

**Европейский стандарт на цифровую беспроводную связь DECT:**

- Используется беспроводными телефонами; не рекомендуется для применения в системах перекачивания сточных вод по причине малой дальности связи и других ограничений.

**Система радиосвязи с направленными антеннами:**

- Высокие затраты на приобретение и эксплуатацию, дальность до 50 км (линия прямой видимости).
- Только двухточечные соединения.

**Связь по магистральным линиям (транковая):**

- Отсутствуют затраты на передачу, но требуется специальная дорогая инфраструктура.
- Больше не используется в сфере перекачки питьевой воды, потому что доступны менее дорогие технологии.

**Технология радиоинтервалов:**

Эта технология особенно подходит для связи между насосными станциями, трубопроводами и водосливными бассейнами дождевой воды, если прием сигнала GSM отсутствует. Однако, по причине относительно дорогих радио устройств (примерно € 1000) и более высоких затрат на антенны (приблизительно € 250), она все еще дороже, чем GSM, даже после нескольких лет эксплуатации. Как указывает само название, постоянная передача данных в этой технологии невозможна. В пределах одной минуты для передачи доступен «интервал времени» длительностью только в 6 с. Однако этого обычно достаточно для обмена данными между несколькими устройствами. После этого, следует поддерживать паузу при передаче длительностью 54 с., пока не будет запущен следующий цикл передачи. Кроме того, в день доступен только один час работы связи (см. ниже), что не приемлемо для применения в установках перекачки питьевой воды.

Управление временным интервалом: 10 интервалов времени в минуту (времени радиообмена) по 6 с. каждый.

- Ширина полосы: полоса 70 см.
- Частотный диапазон: 447 – 448 МГц, 5 частот; разнесение каналов: 12.5 кГц.

- Скорость передачи данных: 4800 бит /с. – 9600 бит /с.
- Мощность антенного вывода: 6 Вт макс.
- СПЕЦИАЛЬНЫЙ частотный диапазон при методе передачи 1:24 (1 используемый час /день): 459.530 МГц; 459.550 МГц; 459.570 МГц; 459.590 МГц.
- Разнесение каналов: 20 кГц.
- Соответствие техническим условиям и оплата за использование специальных частот.
- Одобрено согласно стандарту ETS 300 113
- Назначение частот регулирующими органами TP (RegTP).
- Норматив оплаты за использование частот согласно официальному регистру № 30/1996, указ 228/1996.

**GSM CSD:**

Не лучшая из имеющихся на сегодняшний день технологий. Очень часто использовалась до появления GPRS. Для передачи данных по технологии GSM–CSD сначала следует установить между двумя станциями соединение, подобное переговорной коммуникации через мобильный телефон. В зависимости от использования сетей, это может занять до 30 с. Как только соединение будет установлено, могут быть переданы данные. Кроме объема данных, также оплачивается время соединения, как в случае связи через мобильный телефон. В зависимости от частоты и объема, затраты на передачу для этой технологии в 2–10 раз выше, чем соответствующие затраты для GPRS.

При этом затраты на приобретение устройств идентичны связи GPRS. У метода GSM CSD остается только одно преимущество по сравнению с GPRS: в противоположность IP–адресу, телефонный номер всегда является статическим, и к нему можно получить доступ из любой точки мира. Это позволяет выполнять двухточечные соединения между двумя подстанциями. В случае с GPRS это является возможным только для некоторых решений.

**GSM SMS:**

Практичная альтернатива для малых систем передачи данных о неисправностях. Вместо статического соединения между двумя участниками, посылается текстовое сообщение SMS (максимум 160 знаков). Это сообщение может быть получено мобильным телефоном, устройством управления с GSM или системой управления с GSM. В дополнение к низким базовым платежам, дополнительно оплачивается каждое SMS. Текстовое сообщение SMS можно также послать на некоторые устройства GPRS. Этот вариант имеет то преимущество, что в дополнение к обычной передаче данных между подстанцией и центральной системой, сообщения могут также получать люди, например, промышленные электрики, используя мобильные средства радиосвязи.

**UMTS:**

Для вариантов применения с установками перекачки питьевой воды эта система представляет интерес только для мобильных систем визуализации или управления технологическим процессом. Не подходит для подстанций, поскольку затраты в этом случае намного выше, а полное покрытие площади объекта обеспечивается только в плотно населенных городских районах. Однако этот вариант может хорошо работать в сочетании с GPRS (подстанция => GPRS, мобильная система управления => UMTS), потому что технологии на основе Интернета являются идентичными.

**EDGE:**

EDGE означает «развитие стандарта GSM с увеличенной скоростью передачи данных» и используется для модернизации традиционных сетей GSM / GPRS и таким образом достижения более высоких скоростей передачи данных. Как дальнейшая разработка традиционного стандарта GPRS, где в среднем достигнута скорость 40 кбит/сек, EDGE обеспечивает возможность увеличения скорости передачи данных до 220 кбит/сек. Поскольку в настоящее время дешевые терминалы отсутствуют, эта технология не является подходящей в рассматриваемой сфере. Кроме того, она всего лишь обеспечивала бы более быструю передачу данных, чем GPRS, что не имеет значения для подстанций с их малыми объемами данных.

**WLAN:**

WLAN использует технологию передачи DSSS (передача широкополосных сигналов методом прямой последовательности) и поэтому ненадежна с точки зрения передачи данных. При наличии сигналов, мешающих связи, соединение может внезапно разорваться. Антенны имеющихся на рынке терминалов 802.11 позволяют работать на расстоянии 30–100 метров на открытом пространстве. При использовании самой современной технологии в закрытых помещениях может быть достигнута дальность всего 90 метров. Усовершенствованная аппаратура WLAN позволяет подсоединить внешнюю антенну. С использованием внешних всенаправленных антенн и в ситуации прямой видимости вне помещений может быть установлено соединение на дальности 100 – 300 метров. При использовании радиовещательных антенн можно достичь дальность даже в несколько километров.

**Bluetooth (полоса 2.4 ГГц ISM, на расстояниях максимум до 150 м):**

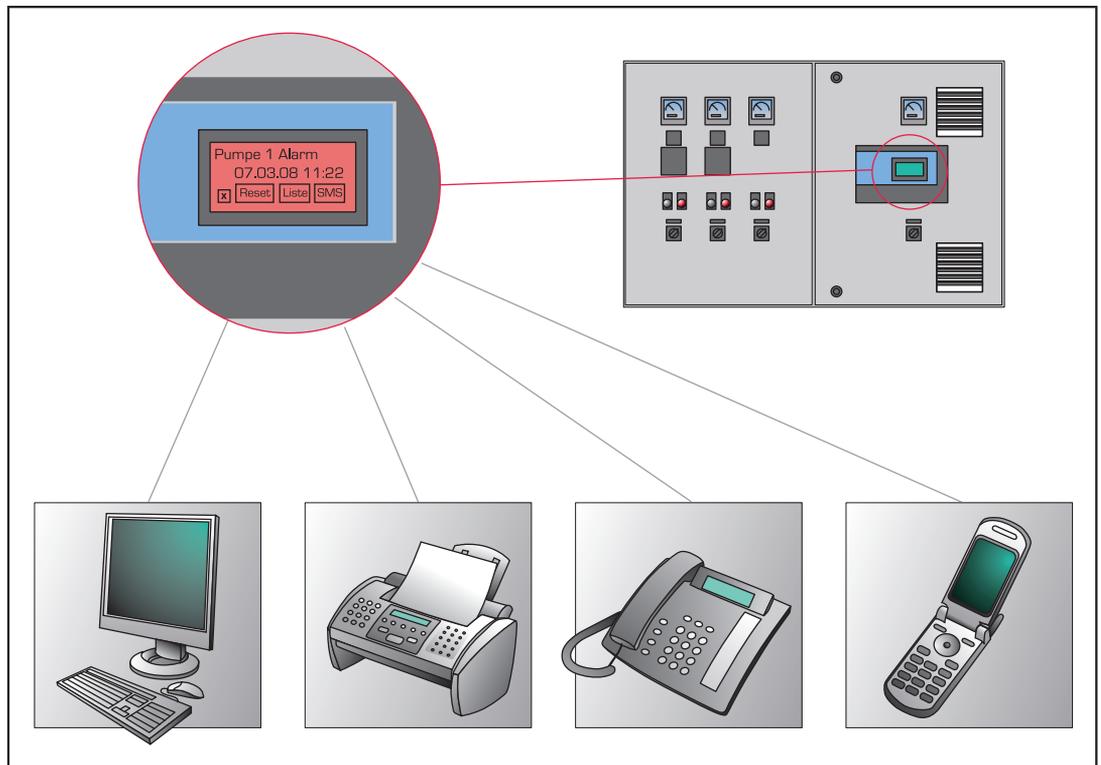
Bluetooth использует передачу широкополосных сигналов методом частотных скачков (FHSS). В этой технологии, которая особенно затрудняет перехват сообщений, используются в общей сложности 79 каналов. В отдельном канале каждые 0.625 миллисекунды происходит взаимное переключение между передатчиком и приемником. Это приводит к 1600 скачкам частоты в секунду. Таким образом компенсируется взаимовлияние сигналов на отдельных каналах и предотвращается внешний доступ третьих лиц, так как последовательность скачков неизвестна третьим лицам. Дополнительная безопасность данных обеспечивается посредством назначения пароля для устройств, или тем, что после успешного установления соединения, устройства становятся невидимыми в радиодиапазоне для других устройств.

**Классы и дальность связи**

Класс	Максимальная мощность	Дальность связи вне помещений	
	[мВт]	[дБм]	[м]
Класс 1	100	20	~ 100
Класс 2	2.5	4	~ 50
Класс 3	1	0	~ 10

- Передача сообщений о тревоге через мобильный телефон, факс, стационарный телефон, электронную почту.
- Сигналы с названием станции, данными о типе повреждения,
- Время, дата.
- Метка времени.
- Регистрация данных о предыдущих 35 сигналах о неисправности.
- Удаленное подтверждение через мобильный телефон.
- Можно вызвать до 4 участников разговора одновременно.

### Практический пример: GSM-система информирования о неисправностях

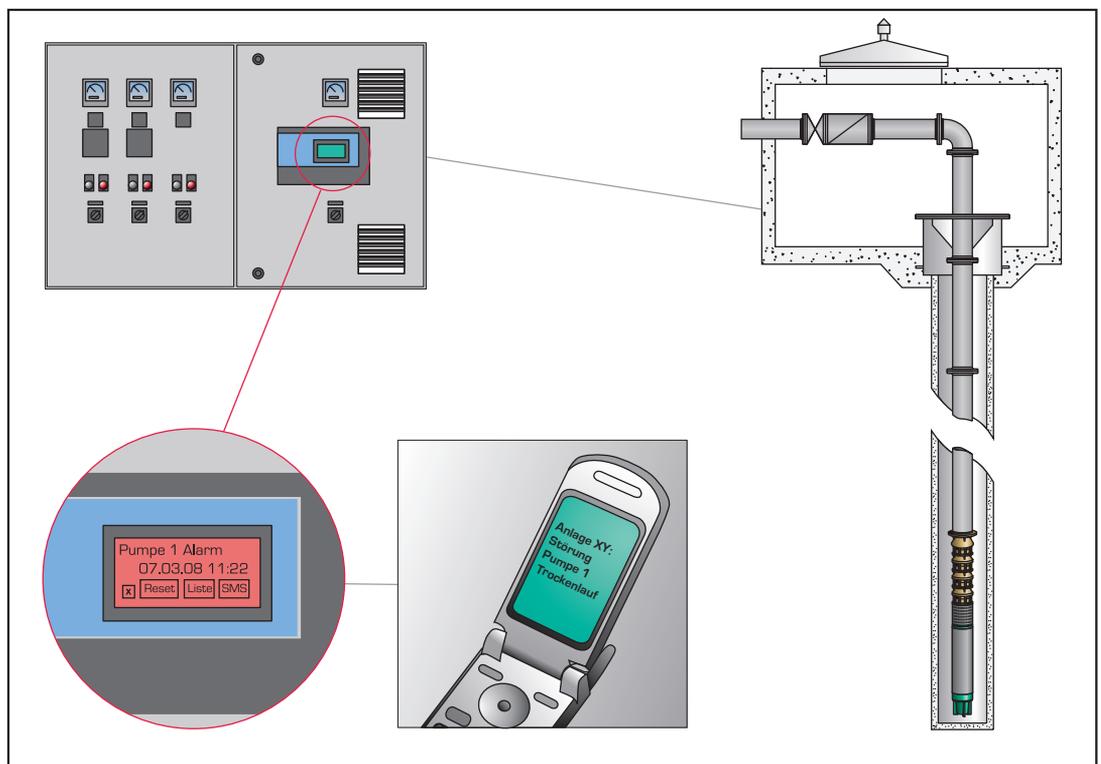


- Сквжинные системы.
- Повышение давления.
- Очистные станции.
- Водосливные бассейны для дождевых вод.
- Установки для откачки сточных вод.

#### Функции:

- Управление насосом.
- Оптимизация затрат энергии.
- Обмен данными GPRS:
  - сообщения о состоянии;
  - измеренные величины;
  - часы работы;
  - эксплуатационные данные;
  - сигналы о неисправности;
  - сигналы тревоги;
  - подтверждение.
- Сигналы SMS:
  - для промышленных электриков.
- Сенсорный экран:
  - для настройки заданных величин;
  - индикации эксплуатационных данных;
  - индикации неисправностей.

### Практический пример: Насосные станции – система дистанционного управления с современной технологией управления насосом



# Особенности работы с устройствами плавного пуска или преобразователями частоты

## Устройство плавного пуска

Погружные насосы могут запускаться и останавливаться с использованием устройств плавного пуска.

Это позволяет получить пусковой ток только в 2.5–3.5 раза больше номинального тока. Устройства со специальной опцией для приводов насоса позволяют еще больше понижать пусковой ток (приблизительно до 1.5–2.5 от номинального тока).

Время пуска или остановки не является критичным для двигателей с шарикоподшипниками. Благодаря защите, установленной в цепи перед двигателем, пуск или остановка должны выполняться в пределах 30 с. Для двигателей, предназначенных для перекачки питьевой воды с подшипниками смазываемыми водой, минимальные скорости следует соблюдать таким же образом, как и при работе с преобразователем частоты. Количество переключений в час приведено в техническом паспорте двигателя конкретного насоса (приблизительно 10–20 переключений, см. данные для плавного пускателя). Типоразмеры двигателя (а также кабелей и т.д.) устанавливаются как для «прямого пуска».

Эффективность устройств плавного пуска в уменьшении скачков давления воды очень ограничена. Поэтому мы рекомендуем устанавливать автоматические золотниковые клапаны, буферные приемники или преобразователи частоты, которые соответствуют требованиям. После выполнения запуска двигателя рекомендуем включать обходную цепь мимо плавного пускателя. При выполнении всех этих рекомендаций обеспечивается беспроблемная эксплуатация устройств плавного пуска.

## Преобразователи частоты

Управление скважинными насосами можно осуществлять, используя доступные на рынке преобразователи частоты. Они обычно проектируются как преобразователи на основе широтно-импульсной модуляции. Для случая двигателей с обмотками, способными работать с погружением в жидкость, следует учесть некоторые особенности.

*Рекомендация: проконсультируйтесь с производителем двигателя.*

### Основное оснащение

Максимальная частота – минимальная частота – свертток – пусковое время – время остановки – пусковой крутящий момент – показания тока – частота – скорость – характеристики зависимости напряжения от частоты  $U/f$  (квадратичный график нагрузки для центробежных насосов) – защита от перенапряжения, пониженного напряжения.

### Специальное оснащение

Диагностика отказов – понижение шума двигателя – подавление резонансных частот – передача данных – дистанционное управление.

### Выбор двигателя и преобразователя

В большинстве случаев могут использоваться серийно выпускаемые стандартные двигатели. По причине дополнительного нагревания вследствие высокочастотных гармоник, номинальная мощность двигателя должна быть приблизительно на 10% выше, чем требуемая исходя из параметров насоса.

Двигатели с обмотками с водяным охлаждением более восприимчивы к пикам напряжения, чем сухие двигатели. Это означает, что следует установить такие фильтры на выходе, чтобы не были превышены предельные величины для обмоток:

- Максимальная скорость роста напряжения на зажимах двигателя: 500 В/мкс.
- Максимальное пиковое напряжение на зажимах двигателя: 1250 В.

Эти величины являются междуфазными.

По причине электрического потенциала грунта, имеющегося у воды, которая находится вокруг обмоток, эти величины также должны учитывать напряжение между фазовым проводником и проводником защитного заземления. Поскольку переключение полупроводников в преобразователях частоты постоянно ускоряется, в особых случаях также может быть необходима установка полюсных фильтров. В связи с особенностями конструкции фактическое напряжение в обмотках двигателя не может быть проверено, поэтому в данном случае для правильного подбора оборудования также важен опыт производителя преобразователей частоты и фильтров.

Выходные фильтры создают дополнительное падение напряжения. Это следует учесть при проектировании системы. Характеристики двигателя (также кабелей и т.д.) задаются такими, как для «прямого пуска». Характеристики преобразователя частоты задаются в соответствии с номинальным током двигателя. Выбор, основанный на мощности двигателя в кВт, может привести к возникновению проблем. Если преобразователь частоты выходит из строя, для этого случая можно дополнительно обеспечить обходной контур.

#### **Электромагнитная совместимость**

Чтобы гарантировать соответствие руководящим принципам ЭМС (электромагнитной совместимости), может понадобиться использовать экранированные кабели или прокладку кабелей внутри металлических трубопроводов, или гофр, установку фильтров. Также необходимы соответствующие меры для выполнения требований руководящих принципов по ЭМС в зависимости от типа преобразователя, производителя, длины установленного кабеля и других факторов. В отдельных случаях необходимые меры приведены в инструкциях по установке и эксплуатации для преобразователя частоты, либо можно проконсультироваться с его производителем.

#### **Минимальная скорость погружных двигателей**

Погружные двигатели имеют подшипники, смазываемые водой. Для них необходима определенная минимальная скорость, чтобы могла быть установлена смазочная пленка.

**В любом случае следует избегать постоянного режима работы на частотах ниже 25 Гц (30 Гц для двигателей с 4 полюсами),** поскольку при таких условиях вероятен выход из строя подшипника по причине отсутствия смазки и последующих механических колебаний.

**Двигатель должен проходить самую низкую часть диапазона скорости (до 12.5 Гц) за время не более 2 с.**

#### **Эксплуатация**

Важно, чтобы насосный агрегат работал во всем диапазоне регулирования без вибрации, резонанса, колебаний вращающего момента или чрезмерного шума.

Повышенный шум работающего двигателя является нормальным, поскольку напряжение источника питания содержит паразитные гармонические колебания. В ходе конфигурирования преобразователя обязательно соблюдайте настройку квадратичной кривой насосных характеристик (кривая U/f) для насосов и вентиляторов. Это гарантирует, что выходное напряжение будет отрегулировано в соответствии с потребностями питания насоса на частотах <50 Гц.

Новейшие преобразователи также оснащаются системой автоматической оптимизации питания с тем же эффектом. Настройки этих и других параметров см. в инструкции по эксплуатации преобразователя.

#### **Подшипниковые токи**

Подшипниковые токи могут возникнуть в двигателях, подключенных к преобразователю. Они нагружают подшипники двигателя и могут их повредить в зависимости от величины тока. В принципе, подшипниковый ток может течь, только если напряжение в зазоре для смазки подшипника не достаточно велико, чтобы пробить изоляцию, созданную смазочным материалом. Самые важные факторы, которые определяют, какой механизм возникновения подшипниковых токов требует наибольшего внимания – это типоразмер двигателя, система заземления кожуха и вала двигателя. Электрическая установка, соответствующий тип кабеля, качество замыкания контактов проводников заземления и электрического экранирования также играют важную роль вместе с номинальным напряжением на входе преобразователя и время нарастания напряжения на выходе преобразователя. Источником подшипниковых токов является напряжение, приложенное к подшипнику. Существует три типа высокочастотных подшипниковых токов: блуждающие токи, токи заземления через вал и электроразрядные токи. Более подробная информация и рекомендации приведены в DIN CLC/TS 60034–25.

#### **Защита двигателя**

В дополнение к встроенному электронному контролю тока в преобразователе или тепловое реле защиты в системе переключения мы также рекомендуем установить температурные датчики в двигателе. Для этого подходят датчики температуры с терморезистором, имеющим положительный температурный коэффициент (PTC), а также резистивные датчики температуры (PT 100), в зависимости от мощности и режима работы.

#### **Работа при частоте до 60 Гц**

Номинальная мощность приводится в техническом паспорте для частоты 50 Гц. Двигатели могут быть модернизированы для работы с частотой питания 60 Гц, при условии, что двигатель был изначально рассчитан на более высокие требования по мощности насоса. Это не должно приводить к превышению номинального тока двигателя!

#### **КПД**

В дополнение к КПД двигателя и насоса также следует принять во внимание КПД преобразователя (~ 95%).

*На практике скорость нельзя понизить ниже точки, при которой сохраняется объемный расход 10% от максимального расхода. Точная величина зависит от типа насоса.*

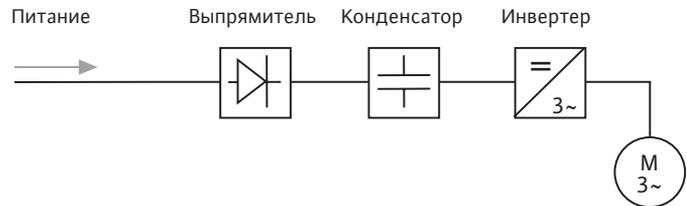
## Конструкция и функционирование

Напряжение сетевого питания выпрямляется и сглаживается. Инвертор на выходе преобразователя частоты состоит из мостовой схемы с шестью полупроводниками с быстрым переключением (биполярные транзисторы с изолированным затвором).

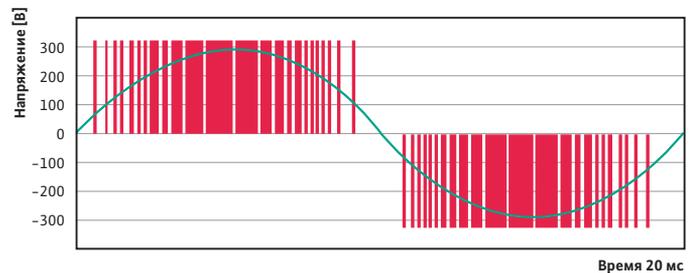
Они переключаются попеременно с целью соединения контура косвенной связи по напряжению с обмотками двигателя. Это выполняется при частоте импульсов в диапазоне приблизительно 4–16 кГц. Большинство типов преобразователей частоты позволяет изменять частоту импульсов. Продолжительность активации и пауза для прямоугольного импульса могут быть изменены, что позволяет эффективно задавать напряжение для двигателя (см. диаграмму).

Следом в цепи может быть подключен синус-фильтр для сглаживания прямоугольного импульса от преобразователя так, чтобы профиль был ближе к синусоидальному.

### Схематическая конструкция преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией



### Выходное напряжение преобразователя частоты





# Подготовка к покупке погружного насоса

## Выбор материалов

Подходящий материал для насоса следует выбирать исходя из характеристик жидкости (см. раздел «Анализ воды»).

### Пример:

Следующие характеристики жидкости приведены в качестве примера:

	Концентрация	Максимальное соотношение для варианта А
Доля хлоридов	100 мг/л	150 мг/л
Удельная проводимость	600 мкСм/см	1000 мкСм/см
Температура	20 °С	20 °С
Содержание песка	30 мг/л	35 мг/л
Величина рН фактора	7.8	

### Результат:

Для указанных характеристик жидкости подходит вариант материалов А, например, насос Wilo-EMU NK 87, с корпусом секции EN-GJL (чугун), и рабочим колесом G CuS n10 (безцинковая бронза).

## Конфигурация гидравлической системы

Для обеспечения подачи питьевой воды в городскую водопроводную сеть следует подобрать погружной насос оптимальной эффективности.

### Пример:

Общие условия, определенные клиентом для установки:

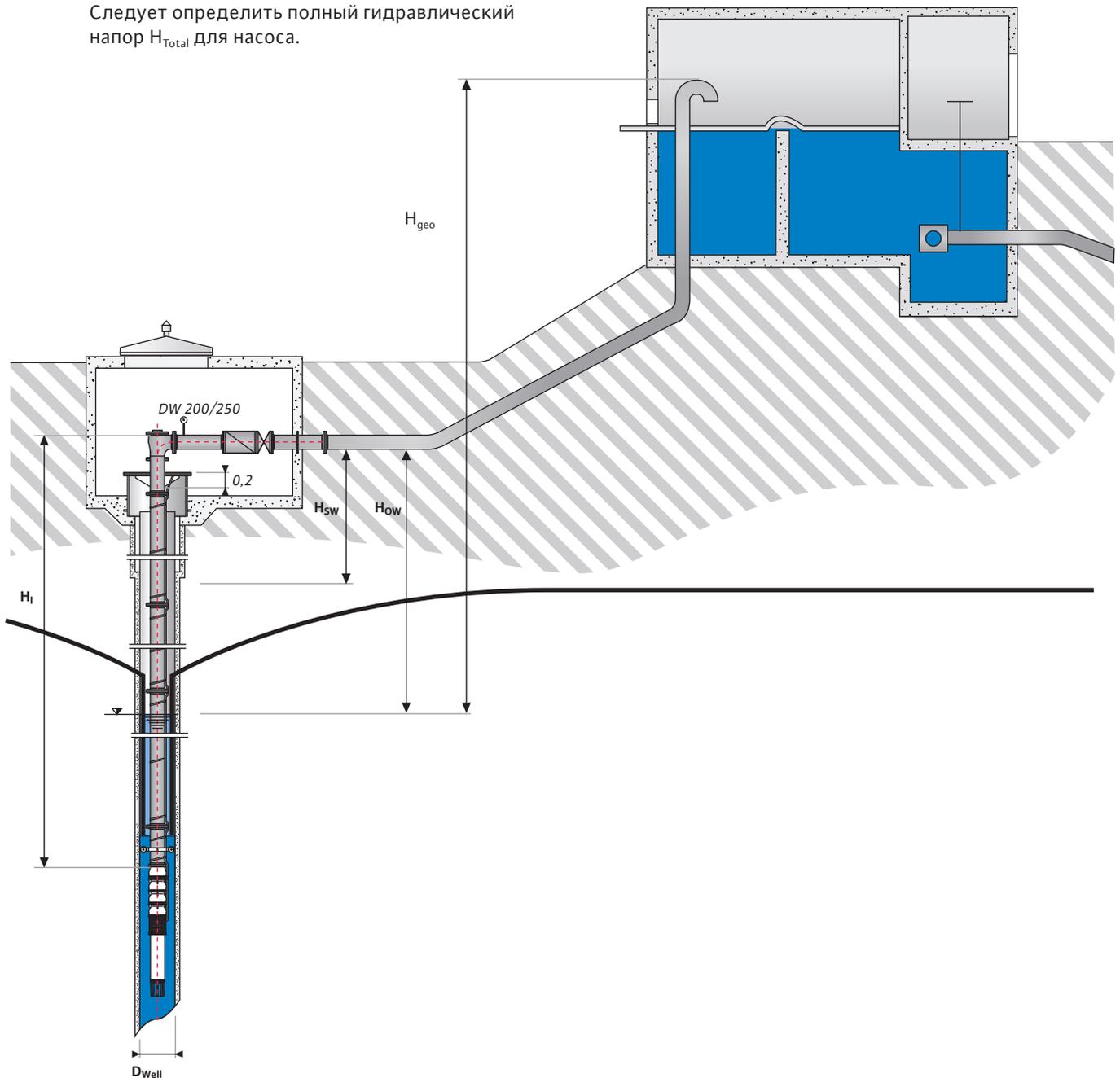
Объемный расход	Q	120 м <sup>3</sup> /ч
Глубина установки	H <sub>I</sub>	40 м
Статический уровень воды	H <sub>SW</sub>	10 м
Динамический уровень воды	H <sub>OW</sub>	30 м
Геодезический напор	H <sub>geo</sub>	60 м
Потери напора по длине	H <sub>Ldyn</sub>	5 м
Диаметр скважины	D <sub>Well</sub>	320 мм

$$H_{\text{Total}} = H_{\text{geo}} + H_{\text{Ldyn}} = 60 \text{ м} + 5 \text{ м} = 65 \text{ м}$$

### Результат:

Указанные данные  $q = 120 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $H_{\text{Total}} = 65 \text{ м}$  приводят к требованию установки следующего типа насоса: Wilo-NK 87-4

Следует определить полный гидравлический напор  $H_{\text{Total}}$  для насоса.



## Скорость потока

В качестве привода для выбранного погружного насоса Wilo- NK 87-4 могут быть предложены двигатели с капсулированными или позволяющими перемотку статорами.

Двигатель	Размер в дюймах	Диаметр $d_{\text{motor}}$ [мм]	Мощность P2 [кВт]	Минимальная скорость потока $V_F \text{ min}$ [м/с]
1. С капсулированным статором	6	137	37	0.16
2. С перематываемым статором	6	141	37	0.20
3. С перематываемым статором	8	195	37	0.10

### Пример:

Клиент выбрал двигатель №2.

Рабочая скорость потока вдоль двигателя при указанных условиях вычисляется по формуле:

$$V_F \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}} \right] = \frac{Q \quad [\text{м}^3/\text{ч}]}{\frac{\pi}{4} \cdot 3600 \cdot (D_{\text{well}}^2 [\text{м}^2] - d_{\text{motor}}^2 [\text{м}^2])}$$

$V_F$  – скорость потока жидкости

$Q$  – расход, м<sup>3</sup>/ч

$D$  – диаметр скважины и двигателя, м

$f$  – частота

$f_{\text{min}}$  – минимальная частота

При условии наличия достаточного охлаждения двигателя в течение всего времени эксплуатации, то есть обеспечения скорости потока в соответствии с требованиями, приведенными в таблице, другие меры конструктивные не требуются.

Если это требование не удовлетворено, необходимо, чтобы был уменьшен диаметр с помощью охлаждающего кожуха, для увеличения скорости потока вдоль двигателя.

Расчет для выбранного двигателя:

$$V_F \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}} \right] = \frac{120 [\text{м}^3/\text{ч}]}{\frac{\pi}{4} \cdot 3600 \cdot (0.32^2 [\text{м}^2] - 0.141^2 [\text{м}^2])}$$

$$V_F = 0.51 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

### Результат:

Скорость потока соответствует условию

$V_F \geq V_F \text{ min}$  и значит достаточна.

Таким образом, для этой рабочей точки обеспечено условие охлаждения двигателя  $0.5 \text{ м/с} \geq 0.20 \text{ м/с}$ . Другие конструктивные меры не требуются.

## Максимальный диаметр скважины при работе без охлаждающего кожуха

Исходя из нормативных условий вычисления скорости потока, каким будет максимальный диаметр скважины, обеспечивающий достаточное охлаждение двигателя?

В вычислении максимального диаметра скважины используется скорость потока:

$$D_{\max_{\text{well}}} [\text{м}] = \sqrt{\frac{Q [\text{м}^3/\text{ч}]}{v_F \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}} \right] \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 3600} + d_{\text{motor}}^2 [\text{м}^2]}$$

$\varnothing$  двигателя – 141 мм  
 $\varnothing$  скважины – 320 мм  
 Расход – 120 м<sup>3</sup>/ч (33.33 л/с)

$$D_{\max_{\text{well}}} [\text{м}] = \sqrt{\frac{120 [\text{м}^3/\text{ч}]}{0.2 \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}} \right] \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 3600} + 0.141^2 [\text{м}^2]}$$

$$D_{\max_{\text{well}}} = 0.48 [\text{м}]$$

*Примечание:*

*В этой зависимости игнорируются другие влияющие факторы, такие как недостаточная нагрузка и перегрузка насоса, а также увеличение температуры жидкости.*

*Примечание:*

*При необходимости по соответствующим вычислениям можно обратиться за помощью к программному обеспечению..*

## Влияние регулирования на требуемую скорость потока

Регулирование скорости выбранного насоса может быть достигнуто посредством преобразователя частоты. Следует проверить обеспечение необходимого охлаждения двигателя по всему диапазону регулирования скорости насоса ( $f_{\min} = 30$  Гц и  $f_{\max} = 50$  Гц).

*Примечание:*

*Указанные диапазоны регулирования ( $f_{\min}/f_{\max}$ ) зависят от серии / типоразмера и их следует проверить отдельно, консультируясь с изготовителем в процессе подбора.*

Закон подобия предлагает общую зависимость:

$$\frac{Q_{\text{новый}}}{Q_{\text{предыдущий}}} = \left( \frac{n_{\text{новый}}}{n_{\text{предыдущий}}} \right)$$

Относительно диапазона регулирования насоса это дает:

$$\frac{Q_{f\min}}{Q_{f\text{Nominal}}} = \left( \frac{n_{\min}}{n_{\text{Nominal}}} \right)$$

Поэтому расход при минимальной частоте равен:

$$Q_{f\min} = \left( \frac{n_{\min}}{n_{\text{Nominal}}} \right) \cdot Q_{f\text{Nominal}}$$

$$Q_{f\min} = \left( \frac{1740 [\text{min}^{-1}]}{2900 [\text{min}^{-1}]} \right) \cdot 120 [\text{м}^3/\text{ч}]$$

$$Q_{f\min} = 72 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Из этого мы получаем результат для рабочей скорости потока вдоль оси двигателя при минимальной частоте  $f_{\min}$  и минимальном расходе:

$$V_{F f \min} \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}} \right] = \frac{72 [\text{м}^3/\text{ч}]}{\frac{\pi}{4} \cdot 3600 \cdot (D_{\text{well}}^2 [\text{м}^2] - d_{\text{motor}}^2 [\text{м}^2])}$$

$$V_{F f \min} \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}} \right] = \frac{Q_{f \min} [\text{м}^3/\text{ч}]}{\frac{\pi}{4} \cdot 3600 \cdot (0.32^2 [\text{м}^2] - 0.141^2 [\text{м}^2])}$$

$$V_{F f \min} = 0.3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

### Результат:

При скорости потока 0.3 м/с в условиях управления по скорости, даже при минимальной частоте и минимальном расходе, обеспечивается необходимое охлаждение двигателя. Таким образом, при работе в пределах диапазона регулирования скорость не является критичной с точки зрения нагрева.

*Примечание:*

*Если охлаждение двигателя не может быть обеспечено, важно, чтобы был установлен охлаждающий кожух. Тогда для любого пересчета в соответствии с зависимостью [1] следует использовать равенство:*

$$D_{\text{WELL}} = D_{\text{скважины}} = D_{\text{охлаждающего кожуха}}$$

## Проверка мощности

Требуемую мощность для выбранного насоса следует определять по всему диапазону эксплуатационных характеристик. Определение мощности следует выполнять для следующих точек:

- $Q_{opt}$  (рабочая точка)
- $Q_{max}$
- $Q_{min}$

Потребность в гидравлической мощности для насоса определяется из следующей общей зависимости:

$$P_{\text{Pump}}(\text{req.}) = \frac{Q [\text{m}^3/\text{h}] \cdot H [\text{m}]}{367 \cdot \eta_{\text{Pump}} [\%]}$$

Из соответствующих данных вычисляются показатели требуемой мощности:

	Объемный расход $Q$ [ $\text{m}^3/\text{ч}$ ]	Гидравлический напор $H$ [м]	КПД $\eta$ [%]
$Q_{opt}$	129	68.8	80
$Q_{max}$	204	23.4	48
$Q_{min}$	35.9	92.7	35

$$P_{\text{pump}}(Q_{min}) = \frac{Q_{min} [\text{m}^3/\text{ч}] \cdot H_{Q_{min}} [\text{M}]}{367 \cdot \eta_{\text{pump}Q_{min}} [\%]} = \frac{35.9 [\text{m}^3/\text{ч}] \cdot 92.7 [\text{M}]}{367 \cdot 0.35 [\%]} = 25.9 [\text{kB}]$$

$$P_{\text{pump}}(Q_{opt}) = \frac{Q_{opt} [\text{m}^3/\text{ч}] \cdot H_{Q_{opt}} [\text{M}]}{367 \cdot \eta_{\text{pump}Q_{opt}} [\%]} = \frac{129 [\text{m}^3/\text{ч}] \cdot 68.8 [\text{M}]}{367 \cdot 0.80 [\%]} = 30.2 [\text{kB}]$$

$$P_{\text{pump}}(Q_{max}) = \frac{Q_{max} [\text{m}^3/\text{ч}] \cdot H_{Q_{max}} [\text{M}]}{367 \cdot \eta_{\text{pump}Q_{max}} [\%]} = \frac{204 [\text{m}^3/\text{ч}] \cdot 23.4 [\text{M}]}{367 \cdot 0.48 [\%]} = 27.1 [\text{kB}]$$

### Результат:

Для рассматриваемых рабочих точек требуемая мощность для насоса находится в пределах располагаемой мощности двигателя. Таким образом, выбранный двигатель подходит для насоса.

#### Примечание:

Потребность насоса в гидравлической мощности не должна превышать расчетную мощность двигателя (риск перегрева двигателя). Кроме того, на потребность насоса в гидравлической мощности могут существенно влиять внешние факторы, такие как изменения скорости (сверхсинхронный режим, неспособность поддерживать минимальный расход), колебания напряжения или неблагоприятные условия притока.

#### Примечание:

Программа автоматизированного подбора Wilo-Select осуществляет проверку мощности автоматически, но без учета влияния других факторов (диаметр скважины, работа с регулированием скорости, качества воды, качество электропитания и т.д.)

## Сечение кабеля

Выбранный насос следует оснащать силовым кабелем.  
 Расстояние между кабелем насоса  
 и распределительным щитом / источником питания  
 $L_{Supply}$  – 200 м.

Необходимое сечение кабеля  $A_{min}$  следует  
 вычислять из условия, чтобы требуемый медный  
 проводник обеспечивал падение напряжения,  
 не превышающего допустимый максимум 3%!

$$A_{min\ Cable} [mm^2] = \frac{\sqrt{3} \cdot L_{Cable} [m] \cdot I_N [A] \cdot \cos\varphi [I]}{U_A [V] \cdot \kappa \left[ \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right]}$$

Следующие данные для двигателя известны  
 из конструкции насоса:

Номинальное напряжение  
 двигателя:  $U_N = 400\text{ В}$   
 Расчетный ток двигателя:  $I_R = 77\text{ А}$   
 Коэффициент мощности  
 двигателя:  $\cos\varphi = 0.83$

Общая длина кабеля:  $L_{Cable} = L_{Pump} + L_{Supply}$

$L_{Cable} = 70\text{ м} + 200\text{ м} = 270\text{ м}$   
 Падение напряжения:  $U_A = 3\% \cdot U_N = 3\% \cdot 400\text{ В} = 12\text{ В}$

Удельная проводимость  
 меди:  $\kappa_{Copper} = 56 \left[ \frac{M}{\Omega \cdot mm^2} \right]$

Это дает следующее минимальное необходимое  
 сечение проводника:

$$A_{min\ Cable} [mm^2] = \frac{\sqrt{3} \cdot 270 [m] \cdot 77 [A] \cdot 0.83 [I]}{12 [V] \cdot 56 \left[ \frac{M}{\Omega \cdot mm^2} \right]} = 44.5 [mm^2]$$

### Результат:

Минимальное необходимое сечение кабеля для  
 заданной длины 270 м составляет 44,5 мм<sup>2</sup>. Ближайшее  
 большее стандартное сечение кабеля – 50 мм<sup>2</sup>.



# Вопросы потенциального снижения потребления электроэнергии для погружного насоса

При рассмотрении вопроса о приобретении нового или замене существующего насоса для нужд водоснабжения часто в качестве главного критерия для принятия решения о выборе берется закупочная цена. Но оборудование, цена которого кажется выгодной для покупателя, впоследствии часто может оказаться гораздо дороже из-за существенных эксплуатационных затрат, вызванных высоким потреблением энергии (сразу или в будущем) или частыми отказами. То, что на первый взгляд кажется экономией затрат, в долгосрочной перспективе может превратиться в свою противоположность.

В этом контексте мы рекомендуем анализировать затраты полного срока эксплуатации, начиная с фазы проектирования. При этом учитываются все затраты, которые возникают в течение всего цикла срока службы насоса. Такой всесторонний подход позволяет делать выбор оптимально подходящей модели насоса для соответствующего применения, включая эксплуатационные расходы.

Анализ затрат полного срока эксплуатации детально учитывает инвестиционные затраты, затраты на монтаж и ввод в эксплуатацию, совместно с расходами на энергоносители и текущими эксплуатационными расходами, расходами на техническое обслуживание, затратами на ремонт, затратами на простой, а также на утилизацию.

Элементы анализа затрат полного срока эксплуатации могут быть выражены следующим образом:

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

- LCC – затраты полного срока эксплуатации
- $C_{ic}$  – затраты на приобретение (закупочная цена)
- $C_{in}$  – затраты на монтаж и ввод в эксплуатацию
- $C_e$  – стоимость энергоносителей
- $C_o$  – эксплуатационные расходы (персонал)
- $C_m$  – расходы на техобслуживание и ремонт
- $C_s$  – затраты на простой
- $C_{env}$  – затраты на охрану окружающей среды
- $C_d$  – затраты на списание и утилизацию

## Оценка затрат полного срока эксплуатации погружных насосов, предназначенных для использования в буровых скважинах

Самый важный фактор, который следует учесть при использовании погружных насосов в буровых и вертикальных скважинах, – длительный срок службы. Срок службы погружного насоса, который используется для коммунального водоснабжения и устанавливается, например, в глубокой скважине, зависит от множества факторов. Они включают чистоту перекачиваемой жидкости и дебит скважины, а также регулирование мощности насоса и используемые материалы.

Причинами ухудшения состояния оборудования скважины, включая технику для перекачки, являются физические, химические и бактериологические процессы, которые вызывают заиливание, отверждение отложений и коррозию. Практически это означает осаждение веществ, которые возникают в результате химического осаждения, механической инфильтрации или биологических процессов обмена веществ. Это может привести к понижению эксплуатационного уровня воды, в результате от погружного насоса потребуется подача жидкости с более высоким напором, что ухудшает его эффективность. Это имеет отрицательное воздействие на срок службы насоса, потому что его эксплуатация будет происходить не в той рабочей точке, для которой он был первоначально спроектирован.

Затраты на приобретение погружного насоса составляют только относительно малую часть затрат полного срока эксплуатации – для установок подачи питьевой воды они составляют в среднем только 5%. Затраты на списание еще ниже, только 1%. Расходы на техническое обслуживание занимают 10%, а максимальную величину составляют энергетические затраты – в пределах 84 %.

Низкие затраты на полный срок эксплуатации и длительный срок службы насоса тесно связаны друг с другом. Как правило, погружной насос, управление которым исходит из фактических потребностей и имеющий низкую потребность в техническом обслуживании, имеет более длительный срок службы, чем установка, которая должна непрерывно работать на полной мощности. По этой причине она имеет более высокую частоту отказов и оказывает большую нагрузку на материалы, входящие в ее конструкцию. Оптимальный выбор насоса достигается только в случае, если он вытекает из точного проектирования, основанного на гидравлических характеристиках и, в частности, из точного знания характеристик перекачиваемой жидкости.

Погружной насос следует выбирать, исходя из следующих факторов:

- типа перекачиваемой жидкости, включая дополнительное присутствие твердых примесей, ее температуру, гидравлические характеристики, ожидаемый срок службы;
- графика зависимости потребления от времени (профиль нагрузки);
- ситуации на месте установки и конструкционных материалов.

После этого выполняется анализ затрат полного срока эксплуатации для данной конструкции погружного насоса (см. раздел «Конструкция погружного насоса») с фокусированием внимания на затратах на энергоносители (Се), которые являются самым большим источником затрат. Определяются меры по оптимизации, вычисляются их соответствующие показатели потенциальной экономии, а также период амортизации дополнительных затрат на осуществление мер по оптимизации.

Ниже подробно проанализированы следующие ситуации:

Погружной насос

1. Без оптимизации
2. С оптимизацией рабочего колеса
3. С оптимизацией двигателя
4. С покрытием гидравлической конструкции
5. С оптимизацией кабеля
6. Итоговый статус оптимизации (полный эффект).

**Пример 1:** Погружной насос на рабочую точку (120 м<sup>3</sup>/ч – 65 м)

Погружной насос, приведенный в данном разделе, имеет следующие расчетные данные:

Технические данные						
Обозначение устройства	NK 87-4 NU 801-2/45					
Насос	NK 87					
Количество ступеней	4					
Двигатель	NU 801-2/45					
Диаметр рабочего колеса	мм	142				
Данные рабочей точки						
Объемный расход	Q [м <sup>3</sup> /ч]	126.99				
Гидравлический напор	H [м]	72.6				
Мощность на валу P <sub>2</sub>	кВт	32				
КПД насоса	%	80.3				
Потребление энергии P <sub>1</sub>	кВт	37.5				
Двигатель (типоразмер)	дюйм	8"				
Тип	NU 801-2/45					
<b>Номинальная мощность</b>	<b>кВт</b>	<b>37</b>				
Напряжение	В	400				
Частота	Гц	50				
Максимальная рабочая мощность	кВт	44				
Максимальный ток	А	74				
Число оборотов	об / мин	2909				
Рабочая нагрузка мотора	%	125	100	75	50	25
cos φ		0.87	0.86	0.82	0.71	0.51
КПД мотора	%	81.4	84.6	85.5	82.3	71.3
Сечение кабеля	мм <sup>2</sup>	4G16				

**Оценка потребляемой энергии**

Меры по оптимизации:	не применяются
Эксплуатационные часы/год [ч/год]	4 000
Потребление энергии [кВт]	37.5
Это дает ежегодное потребление энергии:	4 000 ч/год × 37.5 кВт = <b>150 000 кВтч/год</b>

**Пример 2:** Погружной насос с оптимизацией рабочего колеса (120м<sup>3</sup>/ч – 65 м)

Уменьшение диаметра рабочего колеса необходимо для оптимизации рабочей точки насоса. Результат – пониженное потребление энергии  $P_1$  [кВт] по причине снижения мощности на валу насоса  $P_2$  [кВт]

Технические данные	
Обозначение устройства	NK87S-4+NU 801-2/45
Насос	NK 87
Количество ступеней	4
Двигатель	NU 801-2/45
Диаметр рабочего колеса	мм 131.6
Данные рабочей точки	
Объемный расход	Q [м <sup>3</sup> /ч] 120
Гидравлический напор	H [м] 65
Мощность на валу $P_2$	кВт 26.7
КПД насоса	% 79.5
Потребление энергии $P_1$	кВт 32
Двигатель (размер)	дюйм 8"
Тип	NU 801-2/45
<b>Номинальная мощность</b>	<b>кВт 37</b>
Напряжение	В 400
Частота	Гц 50
Максимальная рабочая точка	кВт 44
Максимальный ток	А 74
Число оборотов	об / мин 2921
Рабочая нагрузка мотора	% 125 100 75 50 25
cos φ	0.87 0.86 0.82 0.71 0.51
КПД мотора	% 81.4 84.6 85.5 82.3 71.3
Сечение кабеля	мм <sup>2</sup> 4G16

**Оценка потребляемой энергии**

Меры по оптимизации:	оптимизация диаметра рабочего колеса
Эксплуатационные часы / год [ч / год]	4 000
Потребление энергии [кВт]	32
Ежегодное потребление энергии:	4 000 ч/год × 32 кВт = <b>128 000 кВтч / год</b>

**Оценка экономии**

В этой конструкции применены меры по оптимизации, которые имеют влияние на затраты полного срока эксплуатации:

Ежегодная экономия энергии [кВтч/год]	150 000 кВтч/год – 128 000 кВтч / год = 22 000 кВтч / год
Ежегодная экономия энергии [%]	приблизительно 15%

→ Дополнительные инвестиции [€]: 107€ × 4 ступени = 428€

→ Цена за электроэнергию [€ / кВтч]: 0.20

Это приводит к ежегодной экономии: 22 000 кВтч / год × 0.20 € / кВтч = 4 400 € / год

Срок амортизации (окупаемость дополнительных инвестиций): 428€ / 4400 € / год = 0.1 года = 30 дней

### Пример 3: Погружной насос с оптимизацией рабочего колеса и двигателя

Дополнительный выбор оптимизированного типоразмера двигателя меньшей мощности, описанный в Примере 3, позволяет согласовать требования по электрической мощности двигателя  $P_1$  [кВт] и фактическую потребность в гидравлической мощности погружного насоса. Результат – оптимизированная с точки зрения электропитания рабочая точка двигателя, в максимально возможной степени удаленная от предельных значений частичной нагрузки и перегрузки.

Технические данные						
Обозначение устройства	NK87S-4CT+NU801-2/45					
Насос	NK 87					
Количество ступеней	4					
Двигатель	NU 611-2/34					
Диаметр рабочего колеса	мм	135.1				
Данные рабочей точки						
Объемный расход	Q [м <sup>3</sup> /ч]	120				
Гидравлический напор	H [м]	65				
Мощность на валу $P_2$	кВт	27.5				
КПД насоса	%	79.7				
Потребление энергии $P_1$	кВт	32.5				
Двигатель (размер)	дюйм	6"				
Тип	NU 611-2/34					
<b>Номинальная мощность</b>	<b>кВт</b>	<b>34</b>				
Напряжение	В	400				
Частота	Гц	50				
Максимальная рабочая мощность	кВт	40.5				
Максимальный ток	А	71				
Число оборотов	об / мин	2861				
Рабочая нагрузка мотора	%	125	100	75	50	25
cos φ		0.84	0.83	0.78	0.67	0.48
КПД мотора	%	83	84.1	82.9	78.2	65.9
Сечение кабеля	мм <sup>2</sup>	2 × 4G4				

### Оценка потребляемой энергии

Меры по оптимизации: оптимизация диаметра рабочего колеса + снижение мощности двигателя

Эксплуатационные часы /год [ч/год] 4 000

Потребление энергии [кВт] 32.5

Это дает ежегодное потребление энергии: 4 000 ч/год × 32.5 кВт = **130 000 кВтч /год**

### Эффект экономии энергии

В этой конструкции применены меры по оптимизации, которые имеют влияние на затраты полного срока эксплуатации:

Ежегодная экономия энергии [кВтч /год] 150 000 кВтч /год – 130 000 кВтч /год = 20 000 кВтч /год

Ежегодная экономия энергии [%] приблизительно 13%

→ Снижение инвестиций благодаря снижению номинальной мощности и диаметра мотора, переходу на 6" двигатель: 5 699 – 3 797 = 1 872.

→ Увеличение инвестиций с оптимизацией рабочего колеса [€]: 428

→ Цена на электроэнергию [€/кВтч]: 0.20

Это приводит к ежегодной экономии: 20 000 кВтч /год × 0.20 €/кВтч = 4 000 € /год  
плюс одноразовая экономия 1 573 € в 1-ом году

Изменение электродвигателя, несмотря на снижение номинальной мощности, не уменьшает, а увеличивает затраты при эксплуатации.

**Пример 4:** Погружной насос с покрытием Ceram

Дополнительное покрытие внутренних поверхностей деталей погружного насоса (Wilo Ceram-CT) позволяет снижать гидравлические потери благодаря лучшим поверхностным характеристикам. В зависимости от типоразмера насоса, достижимо увеличение КПД до 3%.

Технические данные						
Обозначение устройства	NK87S-4CT+NU801-2/45					
Насос	NK 87					
Количество ступеней	4					
Двигатель	NU801-2/45					
Диаметр рабочего колеса	мм	131				
Данные рабочей точки						
Объемный расход	Q [м³/ч]	120				
Гидравлический напор	H [м]	65				
Мощность на валу P <sub>2</sub>	кВт	25.7				
КПД насоса	%	81.8				
Потребление энергии P <sub>1</sub>	кВт	31.0				
Двигатель (размер)	дюйм	8"				
Тип	NU801-2/45					
<b>Номинальная мощность</b>	<b>кВт</b>	<b>37</b>				
Напряжение	В	400				
Частота	Гц	50				
Максимальная рабочая мощность	кВт	44				
Максимальный ток	А	74				
Номинальная скорость	об / мин	2860				
Рабочая нагрузка мотора	%	125	100	75	50	25
cos φ		0.87	0.86	0.82	0.71	0.51
КПД мотора	%	81,4	84,6	85,5	82,3	71,3
Сечение кабеля	мм <sup>2</sup>	4G16				

**Оценка потенциальной экономии энергии**

Меры по оптимизации:	оптимизация рабочего колеса Ceram покрытие внутренней поверхности
Эксплуатационные часы / год [ч / год]	4 000
Потребление энергии [кВт]	31.0
Это дает ежегодное потребление энергии:	4 000 ч / год × 31.0 кВт = <b>124 000 кВтч / год</b>

**Эффект экономии энергии**

Ежегодная экономия энергии [кВтч / год]	150 000 кВтч / год - 124 000 кВтч / год = 26 000 кВтч / год
Ежегодная экономия энергии [%]	приблизительно 17%

→ Дополнительные инвестиции: (566 € × 4 ступени) + 428 € = 2 692 €

→ Цена на электроэнергию [€ / кВтч]: 0.20

Это приводит к ежегодной экономии: 26 000 кВтч / год × 0.20 € / кВтч = 5 200 € / год

### Пример 5: Погружной насос с оптимизацией сечения кабеля

Дополнительная оптимизация сечения кабеля, позволяет снизить падение напряжения по всей длине кабеля, таким образом минимизируя потери.

Это положительно сказывается на потреблении электрической энергии скважинным насосом, так как КПД полной системы улучшается пропорционально каждой составляющей:

$$\eta_{\text{System}} = \eta_{\text{Pump}} \cdot \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Cable}}$$

Примечание:

В расчете используется длина кабеля 270 м, определенная в разделе 1 «Конструкция погружного насоса». Результат расчета кабеля определен для этой длины стандартное сечение кабеля 50 мм<sup>2</sup>.

Технические данные		
Обозначение устройства	NK87S-4CT+NU801-2/45	
Насос	NK 87	
Количество ступеней	4	
Двигатель	NU801-2/45	
Диаметр рабочего колеса	мм	131
Данные рабочей точки		
Объемный расход	Q [м <sup>3</sup> /ч]	120
Гидравлический напор	H [м]	65
Мощность на валу P <sub>2</sub>	кВт	25,7
КПД насоса	%	81,8
Потребление энергии P <sub>1</sub>	кВт	31,0
Потребляемый ток I	А	53

Расчет потерь энергии в кабеле выполняется в соответствии со следующим уравнением

$$P_{V \text{ Cable}} [\text{Вт}] = \frac{3 \cdot (I)^2 [\text{А}] \cdot L_{\text{Cable}} [\text{М}]}{A_{\text{Cable}} [\text{мм}^2] \cdot K \left[ \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2} \right]}$$

- P<sub>V Cable</sub> – потери энергии в кабеле
- I – потребляемый ток
- L<sub>Cable</sub> – длина кабеля
- A<sub>Cable</sub> – сечение кабеля
- K – удельная проводимость меди = 56

Стандартное сечение кабеля 3 × 1 × 50 мм<sup>2</sup>

$$P_{V \text{ Cable}} [\text{кВт}] = \frac{3 \cdot (53)^2 [\text{А}] \cdot 270 [\text{М}]}{50 [\text{мм}^2] \cdot 56 \left[ \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2} \right]} = 813 \text{ Вт} = 0,81 \text{ кВт}$$

Оптимальное сечение кабеля 3 × 1 × 70 мм<sup>2</sup>

$$P_{V \text{ Cable}} [\text{кВт}] = \frac{3 \cdot (53)^2 [\text{А}] \cdot 270 [\text{М}]}{70 [\text{мм}^2] \cdot 56 \left[ \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2} \right]} = 580 \text{ Вт} = 0,58 \text{ кВт}$$

Разность потерь энергии в кабеле

$$\Delta P_{V \text{ Cable}} [\text{кВт}] = 0,81 \text{ кВт} - 0,58 \text{ кВт} = 0,23 \text{ кВт}$$

**Эффект экономии энергии при оптимизации кабеля**

Ежегодное потеря энергии при сечении провода 50 мм <sup>2</sup> :	$4\,000 \text{ ч/год} \times 0.81 \text{ кВт} = 3\,240 \text{ кВтч/год}$
Ежегодное потеря энергии при сечении провода 70 мм <sup>2</sup> :	$4\,000 \text{ ч/год} \times 0.58 \text{ кВт} = 2\,320 \text{ кВтч/год}$
Ежегодная экономия энергии:	$4\,000 \text{ ч/год} \times 0.23 \text{ кВт} = 920 \text{ кВтч/год}$

- Полные дополнительные затраты для длины 270 м:  $5.40 \text{ € / м} \times 270 \text{ м} = 1\,458 \text{ €}$
- Цена на электроэнергию [€/кВтч]: 0.20

Это приводит к ежегодной экономии:  $920 \text{ кВтч/год} \times 0.20 \text{ € / кВтч} = \mathbf{184 \text{ € / год}}$

Период амортизации (срок окупаемости инвестиций):  $1\,458 \text{ € / } 184 \text{ € / год} = \mathbf{7.9 \text{ лет}}$

*Примечание:*

*Несмотря на более длительный период окупаемости для данных мер по оптимизации, благодаря фактическому времени работы, имеющему место на практике (в частности, для погружных насосов большой мощности > 200 кВт при эксплуатации в непрерывном режиме S1 в течение более 10 лет), они представляют собой существенный вклад в оптимизацию насосной системы и в сокращение затрат полного срока эксплуатации.*

## Итоговая оценка

Пример	Меры оптимизации	Ежегодное потребление энергии [кВтч/год]	Ежегодная экономия энергии [кВтч/год]	Влияние экономии энергии как доля от затрат энергии исходной конструкции [%]	Ежегодная экономия затрат на электроэнергию [€/год] *	Период окупаемости дополнительной инвестиции (год)
1	Не применяются (исходная конструкция)	150,000	–	–	–	–
2	Оптимизация рабочего колеса	128,000	22,000	15	4,400	0.1
3	Оптимизация рабочего колеса и двигателя	130,000	20,000	13	4,000	
4	Оптимизация рабочего колеса и материала покрытия Segam CT	124,000	26,000	17	5200	0.52
5	Оптимизация сечения кабеля	2,320	920	1	184	7.9
<b>Наилучший эффект от оптимизации (п.4 + п.5)</b>					<b>5384</b>	<b>0.77</b>

\* При цене за единицу электроэнергии = 0.20 €/кВтч



N 10212-2 1 4307/30dL TCI W2 Z=1.0 A10/AD

# Установка и ввод в эксплуатацию погружных насосов

При установке погружного насоса, следует следить за выполнением следующих пунктов:

- Перед установкой проверьте насос на наличие повреждений при транспортировке.
- Грузоподъемность подъемного механизма должна соответствовать предполагаемой нагрузке.
- В поставку следует включить комплектующие для водоподъемной трубы.
- Силовые кабели должны быть рассчитаны на обеспечение безопасной работы и удобства установки/демонтажа.
- Кабельные хомуты следует выбирать в соответствии с размером кабеля.
- Кабельные хомуты следует установить выше и ниже фланцевого соединения.
- Кабель между хомутами не должен испытывать натяжение
- Для сечений кабеля свыше 25 мм<sup>2</sup> рекомендуются интервалы 1–3 м.
- Кабель между хомутами не должен испытывать натяжения.
- Насос не следует устанавливать в фильтрующей секции.
- Рекомендуется защита от сухого хода с целью защиты насоса.

Перед вводом в эксплуатацию погружного насоса проверьте соответствие указаниям инструкций по электрическому и механическому оборудованию.

В обязательном порядке следуйте инструкциям изготовителя.

## Электрооборудование

- Правильная работа всех защитных устройств и выключателя аварийной остановки.
- Кабель, прокладываемый к шкафу, не должен иметь множества петель (во избежание эффекта индукции).
- Устойчивое напряжение в источнике питания.
- Проверка источника питания, силовых и контрольных кабелей.
- Гарантирование правильного направления вращения вала насоса.
- Установка параметров защиты двигателя.
- Проверка изоляции обмоток двигателя.
- В случае управления двигателем через преобразователь частоты, проконсультируйтесь с изготовителем.
- То же касается инструкций по входному / выходному фильтру.

## Механическое оборудование

- Проверка заполнения двигателя.
- Правильное прикрепление трубопровода.
- Гарантирование достаточной высоты столба воды над насосом.
- При запуске насоса задвижку на напорной стороне следует держать частично открытой.

Монтаж скважинных насосов следует производить только после присоединения магистрального кабеля. Производитель устанавливает кабель насоса минимального сечения для обеспечения гибкости, поэтому его длина минимальна для минимизации потерь. Магистральный кабель рассчитывают исходя из необходимости достижения минимального падения напряжения на значительном расстоянии, поэтому его сечение, как правило, больше сечения кабеля насоса. Чем выше мощность и глубина установки насоса, тем больше разница в сечениях. Узел соединения кабеля мотора и магистрального кабеля является предельно ответственным с точки зрения качества. Герметизация с помощью термоусадочной муфты допускается только для одинаковых сечений. Иначе герметизацию следует производить с помощью муфты с химической усадкой герметика.

Качество всех соединительных элементов электропитания, является основой бесперебойной работы и долговечности насосного агрегата, поэтому здесь следует проводить доскональный контроль. Кроме того, опуская насос в скважину необходимо выполнить правильную укладку кабеля и избежать его механического напряжения и трения. Для этого следует воспользоваться специальными хомутами. Укладывать кабель следует в специальные фланцы обсадных труб, которые должны иметь посадочные места под монтаж кабеля. Важным правилом является создание небольшой степени свободы между хомутами.

В заключение электрического монтажа следует проверить правильность заземления. Кроме подключения четвертого проводника силового кабеля (желто-зелёный), заземление должно быть обеспечено на оголовке трубы непосредственно к контуру заземления помещения.

## Рекомендуемые меры по устранению неисправностей

Причина	Решение
Неправильное направление вращения	Поменяйте местами 2 фазы кабеля силового питания
Рабочее колесо заклинено или заедает	Выключите машину, гарантируйте невозможность ее несанкционированного включения и освободите рабочее колесо
Срабатывает тепловой выключатель защиты двигателя	Специалист по электрооборудованию должен сравнить настройку защиты с техническими требованиями и исправить ее в случае необходимости
Увеличенное потребление тока по причине значительного падения напряжения	Специалист по электрооборудованию должен проверить величины напряжения отдельных фаз
Чрезмерная разность напряжения между 3 фазами	Специалист по электрооборудованию должен проверить соединения и отрегулировать реле обрыва фазы в случае необходимости
Машина выходит за пределы допустимого диапазона эксплуатационных характеристик	Проверьте рабочие данные и исправьте их и /или рабочие условия в случае необходимости
Всасывающий фильтр засорен	Очистите всасывающий фильтр
Недопустимо высокое содержание выделяемого газа в перекачиваемой жидкости	Проконсультируйтесь с заводом-изготовителем
Воздух в системе	Проверьте трубы и стравите воздух в случае необходимости
Насос работает с избыточным давлением	Проверьте задвижку в напорной трубе и откройте её полностью в случае необходимости
Обрыв питания, короткое замыкание или замыкание на землю	Специалист должен проверить кабель и двигатель

## Инструкции по хранению насоса

### Правильная установка

- Положение насоса должно исключать напряжение на изгиб
- Защита кабеля от воздействия влаги
- Морозостойкая установка внутри помещений
- Защита от воздействий непогоды, солнечных лучей или других источников излучения

## Замечания по установке

	Объект внимания	Действия
→ Прокладка кабеля внутри зданий	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Повышенный нагрев кабеля по причине неправильного расположения</li> <li>→ Избегайте возникновения петель кабеля (во избежание эффекта индукции) – это приводит к повышению затрат на электроэнергию</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Заранее проверьте условия на месте и учитывайте их при проектировании установки.</li> <li>→ Выберите соответственно длину и сечение кабеля</li> </ul>
→ Источник питания	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Двигатель имеет неравномерную нагрузку, если перепад напряжения сетевого питания чрезмерный</li> <li>→ Увеличивается нагрузка на двигатель</li> <li>→ Риск двухфазного режима работы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ В случае необходимости установите реле обрыва фазы в распределительном шкафу</li> </ul>
→ Подключение к электросети	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Нерабочее состояние контролирующих устройств</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Кабели питания и управления следует должным образом разделить</li> </ul>
→ Оголовок скважины	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Повреждение насосом стенки скважины по причине недостаточно прочного крепления насоса к оголовку</li> <li>→ Неравномерное охлаждение двигателя по причине колебаний скорости потока</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Установите силиконовое уплотнение фланца</li> <li>→ Освободите сечение для прохода потока</li> <li>→ Установите охлаждающий кожух</li> </ul>
→ Выпускные клапаны в напорной трубе (вантузы)	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Гидравлический удар может вызвать значительные повреждения напорных труб, клапанов и гидравлических устройств</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Выпускной клапан должен быть установлен в самой высокой точке</li> </ul>
→ Загрязнение	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Образование отложений на двигателе по причине плохого теплового рассеяния</li> <li>→ Увеличенный износ гидравлической системы из-за работы в левой предельной области характеристики</li> <li>→ Присутствие коррозии и износа материала</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Извлеките агрегат, очистите его и в случае необходимости выполните капитальный ремонт</li> </ul>



## Ссылка на первоисточник

Нормативы взяты из протоколов  
Институтов Стандартов DIN / ISO DVGW  
Мы благодарим компании  
BARTSCH Pumpen-und Wassertechnik  
E+M Bohr GmbH  
Etschel Brunnenservice GmbH  
OCHS Bohrgesellschaft mbH  
WILO EMU Anlagenbau GmbH  
за оказанную поддержку.

Текст, содержащийся в данном документе, подготовлен силами специалистов WILO SE. Однако нельзя исключать возможность ошибки. Тем самым издатель заявляет о том, что он не несет никакой юридической ответственности за содержание документа.

Авторские права защищены. 2012, WILO SE, Дортмунд  
Эта работа в целом и все ее части защищены авторским правом. Любое ее использование, выходящее за пределы строгих ограничений законом об авторском праве, без одобрения WILO SE запрещается, и ведет к преследованию по суду. Это касается, в частности, воспроизведения, перевода, микрофильмирования или любой другой формы обработки или передачи, а также хранения и обработки в электронных системах. Это также касается копирования отдельных рисунков или иллюстраций и использования текста в виде цитат.

1-й выпуск, 2013 г.

**wilo**

Wilo в Республике Беларусь  
ул. Тимирязева, 67, оф. 1101  
220035 Минск  
Т 017 396-34-63  
М 044 726-02-14  
Ф 017 396-34-66  
wilo@wilo.by  
www.wilo.by

Pioneering for You