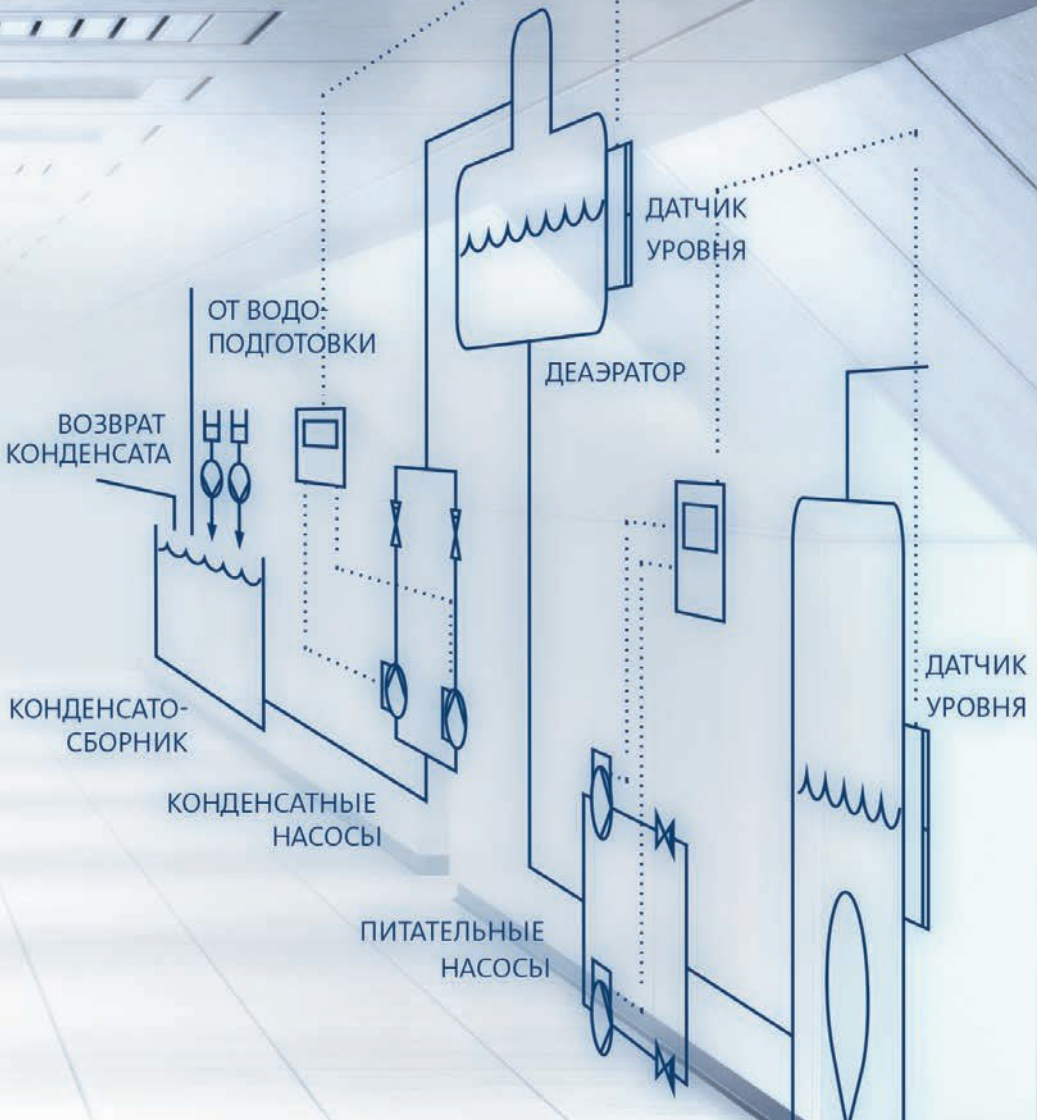


КОТЛЫ И СИСТЕМЫ

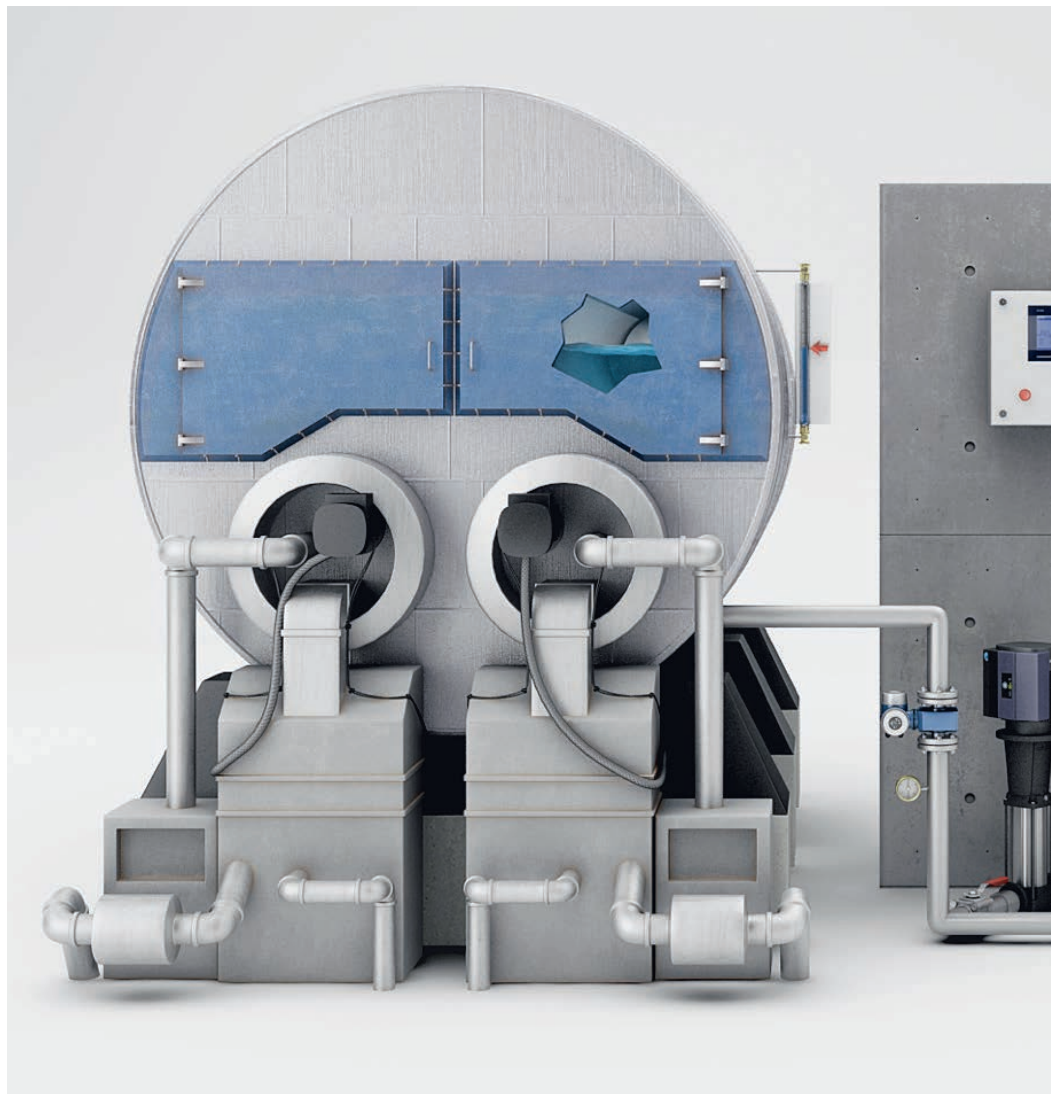


ТЕХНИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

Авторские права 2012 GRUNDFOS A/S. Все права защищены.

Настоящее издание защищается законом об авторских правах и международными соглашениями. Полное или частичное воспроизведение настоящего издания в любой форме и любыми средствами без предварительного письменного разрешения GRUNDFOS Holding A/S запрещено.

Для обеспечения точности при составлении настоящего издания приняты все разумные меры. При этом компания GRUNDFOS не несет ответственности за любой прямой, косвенный, случайный или предсказуемый ущерб в результате прямого или опосредованного использования любой части настоящего издания.





Общие положения	6
Типы котлов.....	6
Водогрейные котлы	7
Термомасляные котлы.....	7
Паровые котлы	8
Парогенераторы.....	8
Котлы-утилизаторы.....	9
Оборудование котельной	10
Деаэратор	10
Конденсатор	12
Экономайзер	12
Конденсатосборник	14
Подпиточная вода	18
Клапан-регулятор уровня и исполнительные механизмы	19
Системы котла	21
Насосы.....	21
Водогрейные котлы	21
Нерегулируемый насос	
с параллельным всасыванием	22
Регулируемый насос с параллельным всасыванием.....	22
Паровые котлы	23
Включение/отключение	23
Клапан уровня.....	24
Клапан уровня и регулирование частоты ..	25
Регулирование частоты	26
Система сбора и возврата конденсата ..	29
Питательная вода	29
Точки дозирования и реагенты.....	32
Используемые реагенты	36
Имеющиеся технологии	37
Подбор типоразмера насоса.....	39
Решения Grundfos	45
Теория/Проблемы	54
Часто задаваемые вопросы.....	59
Сертификаты	60

Общие положения

Выработка пара и горячей воды является одной из наиболее крупных отраслей промышленности в мире. Компания Grundfos гордится тем, что является наиболее предпочитаемым поставщиком насосов для котлоагрегатов, применяемых в данных отраслях.

Насосы Grundfos отличаются надежностью, высоким КПД и предлагаются для широкого диапазона значений производительности. Являясь опытным консультантом в области внедрения котельных систем, наша компания ведет тесное сотрудничество и диалог с заказчиком, чтобы найти оптимальное решение для конкретной системы.

Grundfos является международной компанией с глобальной сервисной сетью. Если требуется выезд специалиста или удаленная рекомендация в отдельных частях мира, наша компания всегда может оказать такие услуги.

Типы котлов

Существует пять основных типов котлов:

- Водогрейные котлы
- Термомасляные котлы
- Паровые котлы
- Парогенераторы
- Котлы-утилизаторы

Потребление и типоразмеры насосов, используемых для этих котельных систем, значительно различаются. На рис. 1 и 2 показаны несколько типовых конструкций используемых котлов.

На рис. 3 показан вид в разрезе наиболее распространенной конструкции котла, используемой в промышленности. В нижней части можно увидеть камеры горелок, которые окружены водой, а в верхней части — дымовые трубы. Сбоку от котла видны два насоса питательной воды.

Рис. 1: Типовая конструкция промышленного котла.

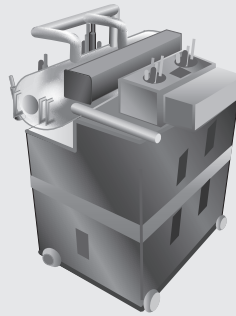
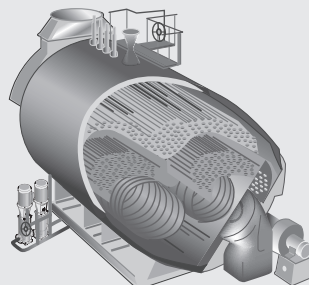


Рис. 2: Конструкция котла, применяемого в судостроении.



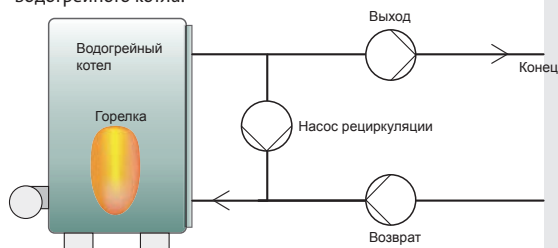
Рис. 3: Наиболее распространенная конструкция промышленного котла.



Водогрейный котел

Водогрейные котлы обычно используются для отопления помещений и зданий. Эти типы систем подходят для температуры на выходе до 150 °C в зависимости от выбранной конструкции котла. Основным преимуществом водогрейных котлов по сравнению с паровыми является большая энергоэффективность. На рис. 4 показана типовая схема установки насосов для водогрейного котла.

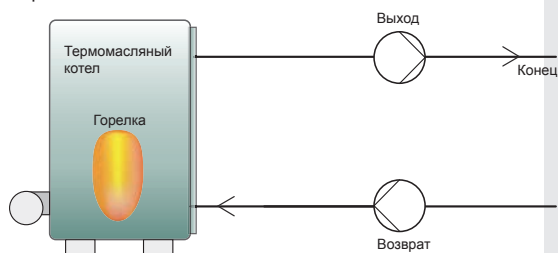
Рис. 4: Типовая схема установки насосов для водогрейного котла.



Термомасляный котел

В термомасляных котлах вместо пара и воды в качестве теплоносителя используется масло. Преимущество масла заключается в том, что при температуре более 100 °C давление в системе не повышается, как в случае с паром и водой. Масло остается в жидком состоянии до температуры порядка 300 °C. В случае же воды для того, чтобы не допустить ее перехода в парообразное состояние при такой температуре, потребуется давление 85 бар. Конструкция термомасляных котлов и систем трубопроводов почти идентична конструкции водогрейных котлов. Поэтому, если не требуются особые свойства пара, масло-теплоноситель может быть хорошей заменой. На рис. 5 показана типовая схема установки насосов для термомасляного котла.

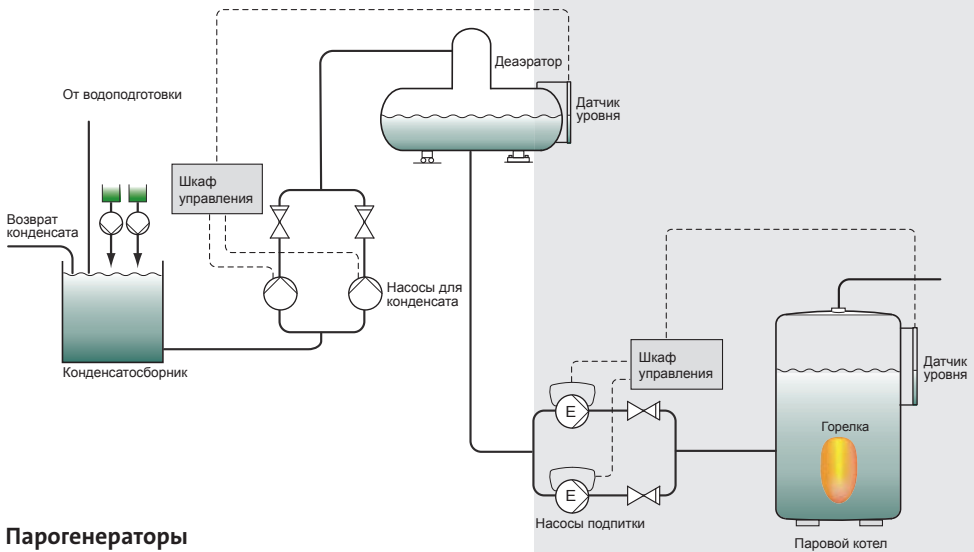
Рис. 5: Типовая схема установки насосов для термомасляного котла.



Паровой котел

Пар обычно используется в промышленных процессах нагрева в связи с его высокой энергоемкостью. Кроме того, пар применяется для очистки, являясь уникальным средством стерилизации, и в качестве рабочего тела в турбинах. Преимущество пара перед водой заключается в его высокой энергоемкости и способности высвобождать энергию при конденсации. Эти свойства пара также позволяют значительно уменьшить размеры теплообменников. На рис. 6 показана типовая схема установки насосов для парового котла.

Рис. 6: Типовая схема установки насосов для парового котла.



Парогенераторы

В парогенераторе питательная вода и пар обычно проходят через одну длинную спиралеобразную трубу (змеевик). В этой длинной трубе (змеевике) питательная вода нагревается до температуры испарения в первой части, а затем испаряется во второй части. Интенсивность нагрева, расход питательной воды и размер/длину трубы подбирают таким образом, чтобы вода полностью испарялась на выходе из трубы. За счет этого обеспечивается очень малый объем воды и пара (содержимого сосуда высокого давления).

На рис. 7 показан парогенератор для фармацевтической промышленности, в котором пар получают из воды для инъекций (д/и). Вода д/и нагревается обычным паром.

Преимущества использования парогенератора по сравнению с обычными паровыми котлами:

- Простота эксплуатации (обычно требования по допуску к работе с котлом отсутствуют).
- Быстрый пуск и выход на полное давление пара.
- Компактность и простота адаптации в существующей компоновке оборудования.
- Привлекательная цена (особенно при низком расходе пара).

Котлы-утилизаторы

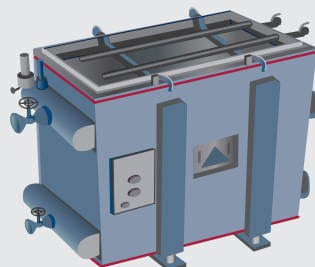
Пар может вырабатываться не только за счет применения мазутных или газовых горелок, но также за счет использования значительного количества тепла отходящих дымовых газов или отходящего воздуха. Испарение пара происходит аналогично тому, как это происходит в парогенераторах, за счет чего обеспечивается быстрое действие и компактность установки.

Система, утилизирующая тепло отходящих дымовых газов самого парового котла / парогенератора называется экономайзером или котлом-утилизатором. Эта система может использоваться для подогрева питательной воды, а также для других нужд, в том числе подогрева питательной воды, горячего бытового водоснабжения или централизованного теплоснабжения.

Рис. 7: Парогенератор.



Рис. 8: Котел-утилизатор.



Оборудование котельной

Деаэратор и конденсатосборники используются только в системах паровых котлов. В водогрейных или термомасляных котлах они не применяются, поскольку рабочая среда всегда находится в жидкой фазе. Эти два типа резервуаров схожи по конструкции, однако имеют разное назначение.

Данные виды оборудования могут работать по двум принципам: тепловому и вакуумному. Выбор конструкции резервуара зависит от используемого типа котла. Каждый из принципов предполагает использование насосов различной конструкции.

ТЕПЛОВОЙ ПРИНЦИП

Резервуар с использованием теплового принципа сообщается с атмосферой. Эта конструкция обычно используется на установках небольшой мощности. Здесь пар используется для поддержания температуры воды в резервуаре на уровне приблизительно 105 °C, за счет чего из воды удаляется воздух. Для открытия воздушного клапана, установленного на деаэраторе или конденсаторе, требуется давление около 0,2 бар. Общее давление при этом составляет 1,2 бар. Это означает, что вода будет кипеть при температуре выше обычной – 100 °C, которая является нормальной температурой кипения при атмосферном давлении. Дополнительная информация приведена на странице 61 настоящего руководства в таблице давлений паров. Помимо воздушного клапана, в резервуаре установлен также клапан срыва вакуума для предотвращения создания разряжения в резервуаре (вакуума), которое может образоваться при добавлении в резервуар холодной подпиточной воды.

ВАКУУМНЫЙ ПРИНЦИП

В соответствии с данным принципом для создания вакуума в резервуаре используется воздушный насос (эжектор). За счет этого вода начинает кипеть при температуре ниже обычной — 60 °C. При этом, в свою очередь, происходит деаэрация воды. Этот принцип обычно используется в паровых турбинах.

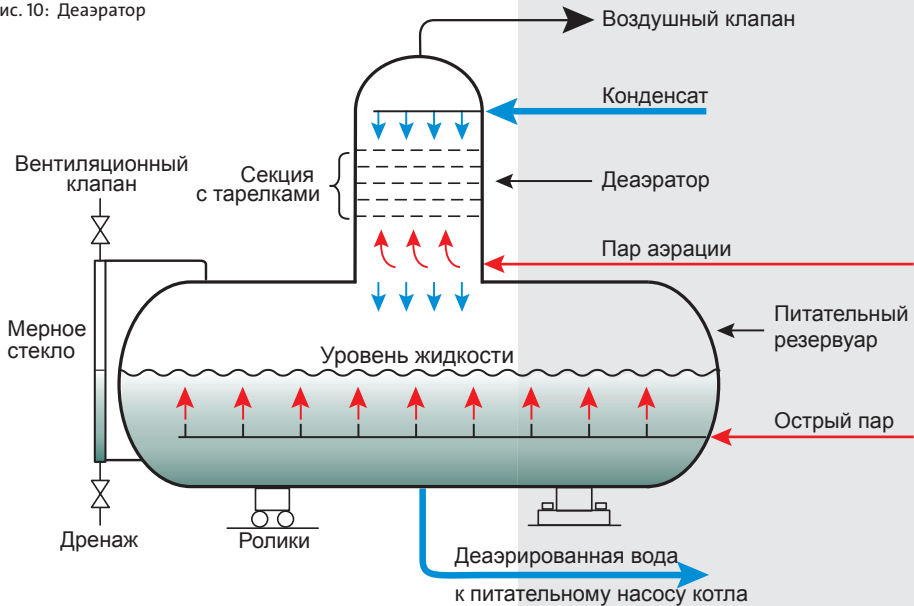
Рис. 9: Принципы работы оборудования.



Деаэратор

Наиболее важной задачей деаэратора является сокращение концентрации кислорода (O_2) и угольной кислоты (H_2CO_3) в котловой питательной воде для защиты котла от коррозии. Уровень кислорода и угольной кислоты может быть сокращен приблизительно до $< 0,02 \text{ мг/л } O_2$ и $0 \text{ мг/л } CO_2$, в зависимости от конструкции деаэратора.

Рис. 10: Деаэратор



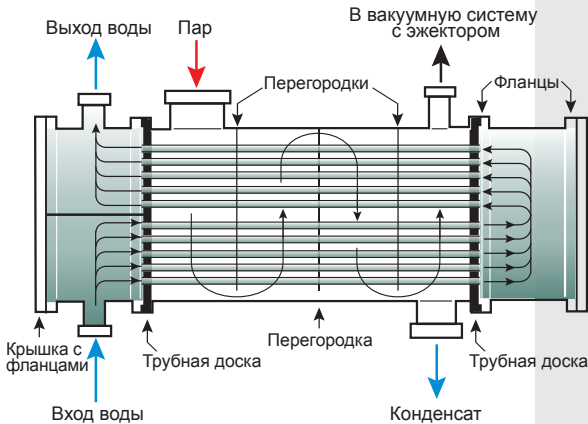
	Внутренний распределительный паропровод
	Внутренняя перфорированная труба (распределитель воды)
	Перфорированные тарелки
	Пар низкого давления
	Котловая питательная вода (конденсат рециркуляции и подпиточная вода)

В последние годы для удаления кислорода из воды вместо деаэраторов все чаще применяют конденсатосборники или резервуары с водой, нагретой до температуры порядка 80°C . Вместо доведения воды до кипения в этих резервуарах для удаления кислорода добавляют химреагенты.

Конденсатор

Конденсатор (см. рис. 11) обеспечивает полную конденсацию пара перед возвратом в деаэратор и далее в котел. В конденсатор обычно подается обработанная вода.

Рис. 11: Конденсатор.



Экономайзер

Как сказано выше, экономайзеры более или менее аналогичны котлам-утилизаторам за тем исключением, что в них отсутствует собственная паровая камера, а используется камера котла.

Для экономайзеров обычно существует два различных способа крепления в зависимости от того, устанавливаются ли они в составе наземных или судовых котельных установок.

В котлоагрегате, работающем на суше, используются дымовые газы котла в соответствии с рис. 11. Вода, циркулирующая над экономайзером, обычно подается главным питательным насосом, но для этой воды также может быть предусмотрен собственный циркуляционный насос (см. рис. 12). В дымовой трубе также предусматривается байпас для пропуска отходящих газов в обход теплообменника.

Рис. 12

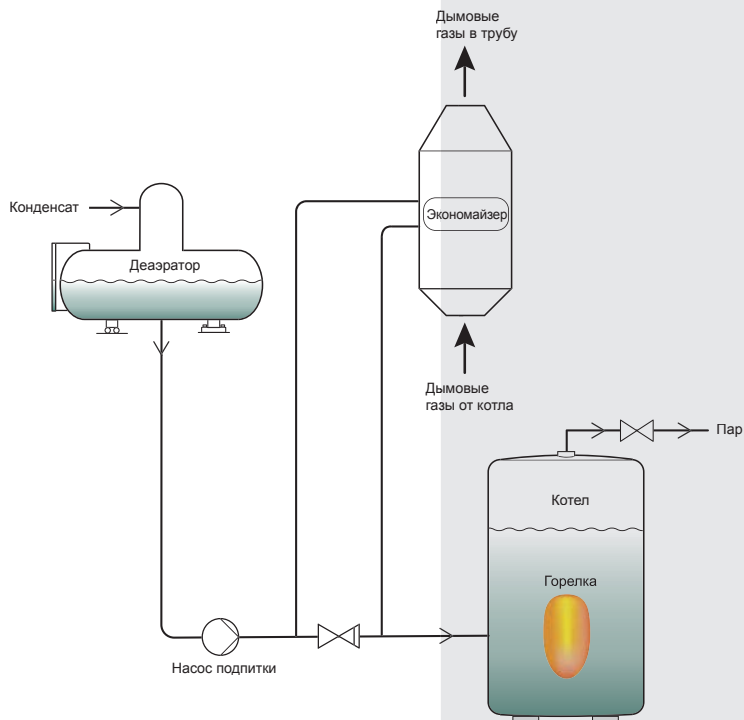
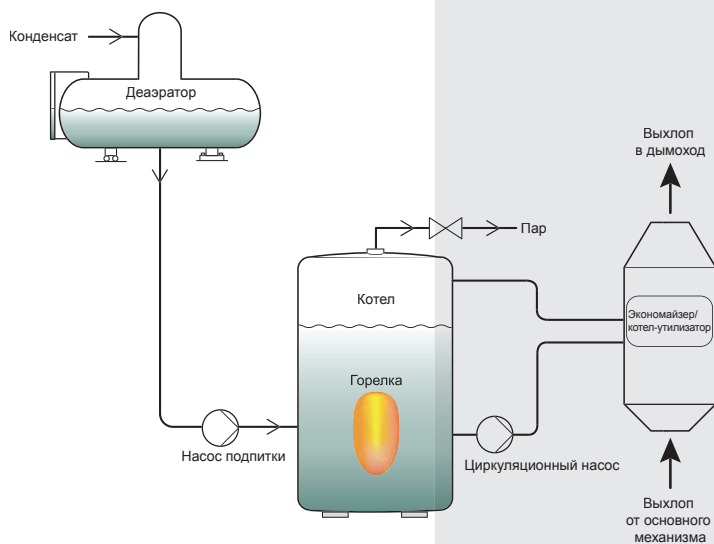


Рис. 13



Экономайзер судовых котлов отличается от котлов, устанавливаемых на суше, поскольку он размещается в дымовой трубе на главном двигателе, так как количество отходящих газов от этого источника значительно больше. Энергия, производимая экономайзером судовых котлов, зачастую позволяет вырабатывать перегретый пар, подаваемый напрямую от экономайзера в трубопровод.

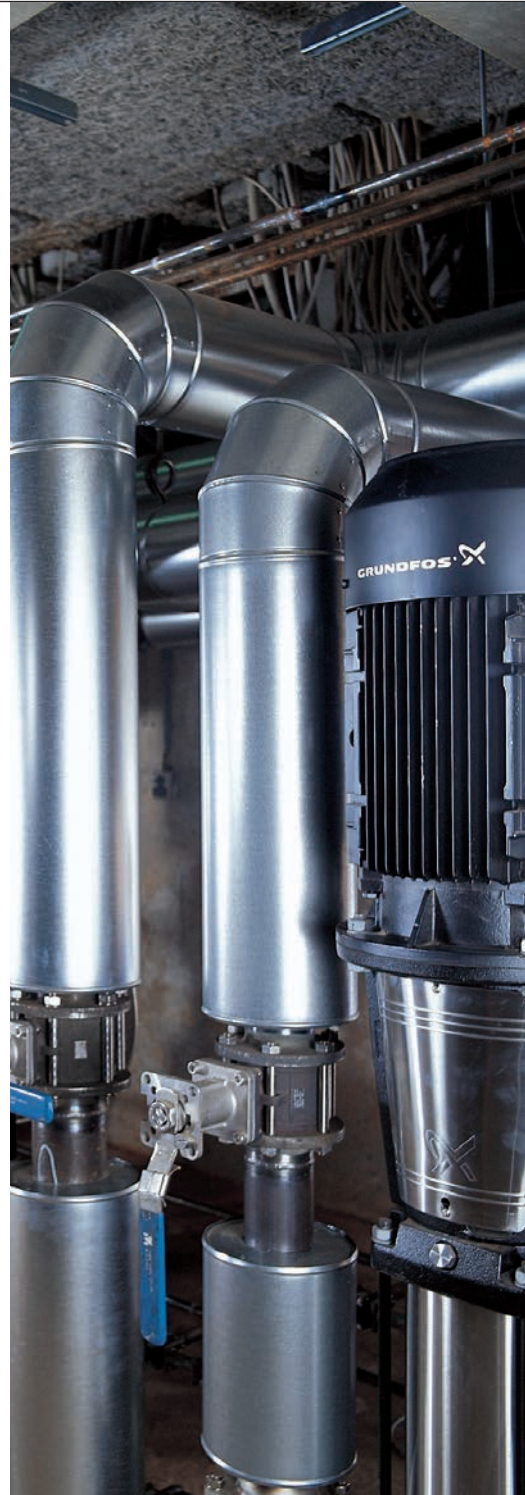
Согласно рис. 13 циркуляционный насос необходимо подбирать с учетом давления и температуры в котле, которые могут легко достигать 20 бар и 170 °С. В связи с этим могут потребоваться насосы с воздушноохлаждаемой насадкой и фланцем с подшипником. Обычно необходимость создания насосом высокого перепада давления отсутствует, поскольку требуется только компенсировать потерю давления в трубчатом теплообменнике (экономайзере).

При установке экономайзера необходимо контролировать, чтобы температура дымовых газов в экономайзере, газоходах или дымовой трубе не падала ниже точки росы. В случае конденсации дымовых газов и содержания в топливе даже малых количеств веществ, которые способны образовывать кислоты, конденсат становится крайне агрессивным и может вызвать коррозию деталей, с которыми он контактирует. Если для повышения теплового КПД требуется конденсация дымовых газов, следует получить у поставщика топлива данные о химическом составе и выбрать материалы для деталей, которые могут работать в кислой среде.

Конденсатосборник

Важность питательного резервуара котла, в котором смешиваются и хранятся котловая питательная вода и подпиточная вода и в который возвращается конденсат, зачастую недооценивается. Большая часть оборудования в котельной дублируется, но очень редко можно встретить компоновку с двумя питательными резервуарами. Этот важный элемент зачастую рассматривается в процессе проектирования в последнюю очередь.

Питательный резервуар является основной точкой контакта холодной питательной воды и возвращаемого конденсата.

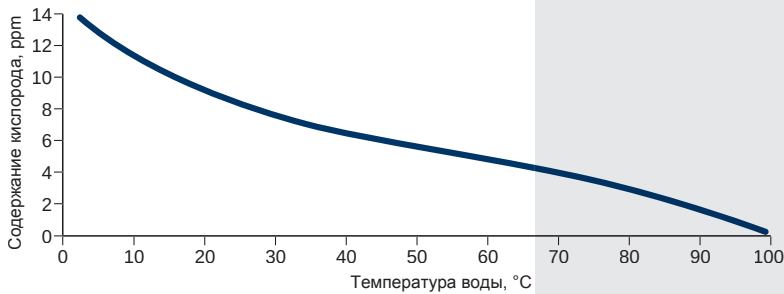


Предпочтительно, чтобы оба этих потока вместе с паром из системы продувки проходили через разбрызгиватели, установленные значительно ниже поверхности воды в резервуаре питательной воды. Разбрызгиватели выполняются из нержавеющей стали с обеспечением необходимых опор.

РАБОЧАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Важно, чтобы температура воды в питательном резервуаре поддерживалась на достаточно высоком уровне для минимизации содержания растворенного кислорода и других газов. На рис. 14 показано отношение между температурой воды в питательном резервуаре и содержанием кислорода в ней.

Рис. 14: Зависимость температуры воды от содержания кислорода.



Если используется высокая пропорция подпиточной воды, за счет нагрева питательной воды можно значительно сократить количество реагентов, необходимых для поглощения кислорода.

За счет снижения количества растворенного в воде кислорода обеспечивается экономия затрат

Исходные данные для расчета:

Стандартная дозировка сульфита натрия составляет 8 ppm на 1 ppm растворенного кислорода.

Обычно добавляют дополнительно 4 ppm для поддержания резерва в котле.

Обычно жидкий катализированный сульфит натрия содержит только 45% сульфита натрия.

Очевидно, что нагрев среды в питательном резервуаре требует определенных затрат, но поскольку на то же значение увеличивается и температура воды в котле, дополнительная энергия не требуется — используется та же энергия, только в другом месте.

Единственными реальными потерями являются дополнительные теплотери от самого питательного резервуара. При наличии на резервуаре необходимой изоляции эти дополнительные теплотери будут незначительными.

За счет снижения количества добавляемого в котловую питательную воду сульфита натрия обеспечивается дополнительная существенная экономия. При этом сокращается требуемый объем нижней продувки, и эта экономия с запасом компенсирует незначительные дополнительные теплотери от питательного резервуара котла.

Предотвращение повреждения самого котла

При попадании холодной воды на горячие поверхности стенок и трубок котел испытывает тепловой удар. При более высокой температуре питательной воды перепад температур ниже и, соответственно, ниже риск теплового удара.

Поддержание расчетного расхода на выходе

Чем ниже температура котловой питательной воды, тем больше тепла требуется котлу для выработки пара. Для поддержания требуемого расхода на выходе важно поддерживать температуру в питательном резервуаре как можно выше.

Кавитация в питательном насосе котлоагрегата

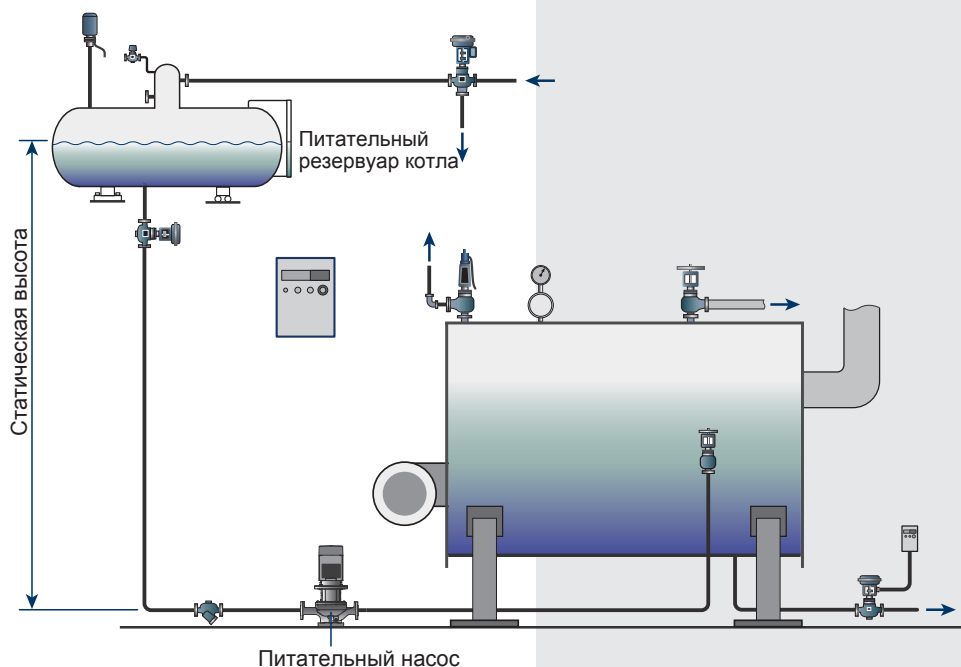
Внимание! Очень высокий расход на возврате конденсата (обычно более 80 %) может привести к повышенной температуре питательной воды и возникновению явления кавитации в питательном насосе.

Если в насос поступает вода при температуре, близкой к температуре кипения, она превратится в пар в зоне низкого давления на входе рабочего колеса. В этом случае при падении давления ниже давления насыщенных паров образуются пузырьки пара. При последующем повышении давления эти пузырьки схлопываются, и возникает поток воды, устремляющийся в образовавшуюся полость с очень высокой скоростью.

Этот эффект называется «кавитацией». При этом слышен шум и возможно сильное повреждение насоса.

Во избежание возникновения этой проблемы важно создать в насосе наилучший допустимый кавитационный запас (NPSH), чтобы обеспечить максимально возможное статическое давление. Выполнение этого требования достигается за счет размещения питательного резервуара как можно выше над котлом и за счет значительного завышения диаметра подводящих трубопроводов питательного насоса (рис. 15).

Рис. 15: NPSH над питательным насосом.



Подпиточная вода

Для подпитки в целях компенсации потерь в системе используется холодная вода от установки водоподготовки.

Для многих установок водоподготовки требуется значительный расход для достижения оптимальной производительности. Например, «капельный» поток в питательном резервуаре, образующийся в результате изменения настроек управления, может отрицательно сказаться на производительности установки умягчения воды. Поэтому для холодной подпиточной воды часто предусматривают небольшую емкость из пластмассы или оцинкованной стали. Поток от установки умягчения в резервуар подпитки не регулируется и может быть либо включен, либо отключен. После этого расход в питательный резервуар регулируется с помощью регулирующего клапана.

Этот тип установки обеспечивает более «плавную» работу котлоагрегата. Для предотвращения опускания относительно холодной подпиточной воды на дно резервуара (откуда она отбирается непосредственно в линию котловой питательной воды) и для обеспечения равномерного распределения температуры обычно применяется разбрызгивание подпиточной воды в питательном резервуаре с более высокой отметки.

Датчик уровня воды

Для всех паровых котлов крайне важно обеспечивать постоянный уровень воды для безопасной работы котла и поддержания надлежащего качества пара. Паровой котел обычно оснащается следующими датчиками:

ЗАЩИТА

- Аварийно-низкий уровень, отключение горелки.
- Сигнализация низкого уровня.
- Сигнализация высокого уровня.

УПРАВЛЕНИЕ

- Низкий уровень, пуск насоса.
- Высокий уровень, останов насоса.

Контрольный датчик уровня также может быть модулирующего типа, тогда он работает в соответствии со следующими принципами:

- Кондуктометрические датчики.
- Поплавковое регулирование.
- Ячейки дифференциального давления.

Датчики уровня могут быть установлены непосредственно в корпусе насоса или в наружных камерах.

Уровень воды по показаниям датчика будет всегда отличаться от фактического уровня воды в котле. Величина погрешности зависит от конструкции котла и места установки датчика.

Использование различных систем управления детально рассмотрено в разделе «Системы котла».

Клапан-регулятор уровня и исполнительные механизмы

Исполнительный механизм клапана-регулятора уровня получает сигнал от датчика уровня и переводит клапан в положение, соответствующее этому сигналу. Исполнительный механизм перемещает шток клапана и регулирует расход в зависимости от характеристики клапана. Характеристика клапана зависит от его конструкции и не рассматривается подробно в данном руководстве.

ПОДБОР РЕГУЛИРУЮЩЕГО КЛАПАНА

Чтобы подобрать клапан для работы в водной среде необходимо знать следующие данные:

- Объемный расход на клапане.
- Перепад давления на клапане.

Пропускная способность арматуры обычно измеряется параметром K_v . Если говорить более конкретно, параметр $K_{v_{от}}$ выражает проходное сечение клапана в полностью открытом положении, а $K_{v_{кр}}$ — проходное сечение клапана, необходимое в соответствии с условиями применения.

Упрощенная формула для определения перепада давления при перекачивании воды выглядит следующим образом:



$$V = K_v \sqrt{\Delta P}$$

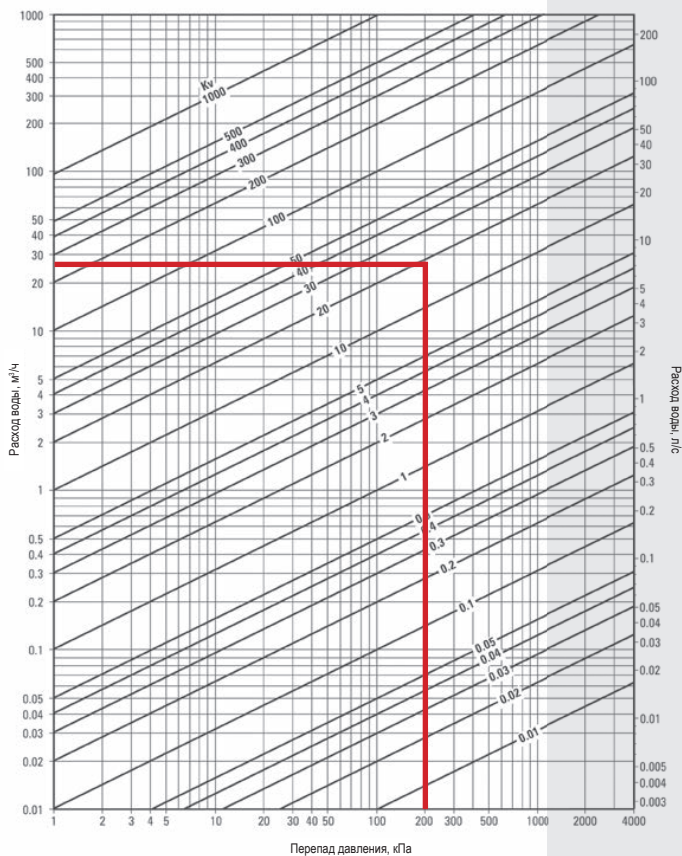
Значение K_v для клапана можно определить следующим образом:

$$K_v = \frac{V}{\sqrt{\Delta P}}$$

Для котла с расходом $26 \text{ м}^3/\text{ч}$ с учетом коэффициентов запаса и при необходимом перепаде давления на регулирующем клапане в 2 бар, значение K_v составляет 18,3, что на практике соответствует значению K_v 20.

Эти значения также указаны в следующем графике K_v , представленном на рис. 16.

Рис. 16: График K_v (источник: www.spiraxsarco.com).



Системы котла

Насосы

В составе систем котлов может использоваться широкий диапазон насосов в зависимости от типа котла и места использования.

В данном разделе описаны типовые варианты расположения для различных насосов и методы управления ими.

Чаще всего в системах котла насосы используются для питания котла, перекачивания конденсата, обеспечения циркуляции в экономайзере и для параллельного включения.

Кроме того, насосы используются в подсистемах, например, дозирующие насосы и насосы систем водоподготовки, которые не описаны в настоящем издании.

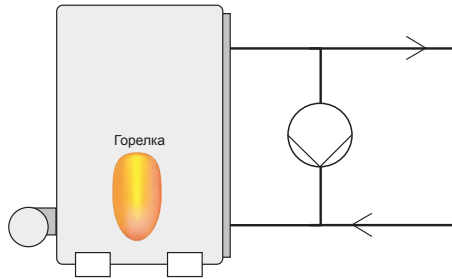
Водогрейные котлы

Насос рециркуляции

Для насоса рециркуляции обычно требуется высокий расход и очень низкий напор. Поэтому насос с параллельным всасыванием обычно комплектуется 4-полюсным или 6-полюсным двигателем для снижения напора. Насосы с параллельным всасыванием обычно выполняются одноступенчатыми.

Нерегулируемый циркуляционный насос

Рис. 17



НАЗНАЧЕНИЕ

Циркуляционный насос предназначен для предотвращения чрезмерного падения температуры среды, возвращаемой в котел. При значительном колебании перепада температур между патрубком возврата и патрубком подачи, конструкции котла испытывают огромные напряжения. Мощность насоса должна назначаться в зависимости от минимальной температуры возвращаемой среды, т.е. большую часть этот насос работает на полную мощность.

ПРЕИМУЩЕСТВА

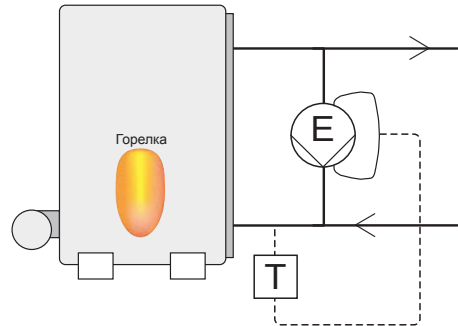
- Невысокая стоимость и простота монтажа.
- Безопасность эксплуатации (небольшое количество узлов).

ВАЖНО!

- Информацию о правильной температуре в обратном трубопроводе можно получить у изготовителя котла.
- Для поддержания перепада температур на одном уровне требуется одинаковая нагрузка на котел.

Циркуляционный насос с частотным преобразователем

Рис. 18



НАЗНАЧЕНИЕ

Циркуляционный насос предназначен для предотвращения чрезмерного падения температуры на возврате в котел. При значительном колебании перепада температур между патрубком возврата и патрубком подачи, конструкции котла испытывают огромные напряжения. Для таких условий применения может потребоваться установка регулируемого насоса. Насос комплектуется датчиком температуры, регистрирующим температуру на возврате в котел, за счет чего обеспечивается поддержание постоянной температуры.

ПРЕИМУЩЕСТВА

- Постоянное поддержание температуры на возврате независимо от нагрузки на систему.
- Снижение энергозатрат.

ВАЖНО!

Информацию о правильной температуре на возврате можно получить у изготовителя котла.

НЕОБХОДИМЫЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Датчик температуры, R100/Grundfos Go

Паровые котлы

Подача питательной воды в паровые котлы обычно может выполняться следующими четырьмя способами:

- Включение/отключение.
- Сквозной клапан (с байпасом и без него).
- Сквозной клапан и регулирование скорости (с байпасом и без него).
- Регулирование частоты.

Указанные способы являются наиболее общими и будут описаны ниже. Следует учитывать, что часто встречаются различные сочетания этих четырех систем.

Включение/отключение

НАЗНАЧЕНИЕ

Питательный насос включается и отключается по сигналу датчика уровня или датчика дифференциального давления. Когда уровень воды падает до уровня «Насос вкл.», насос начинает подавать в котел значительные объемы относительно холодной воды. При этом сокращается количество пара и падает его давление. По этой причине управления по схеме включение/отключение вызывает колебания в выработке пара. Эта схема также может приводить к чрезмерному кипению в котле, что в свою очередь может вызвать попадание воды в систему.

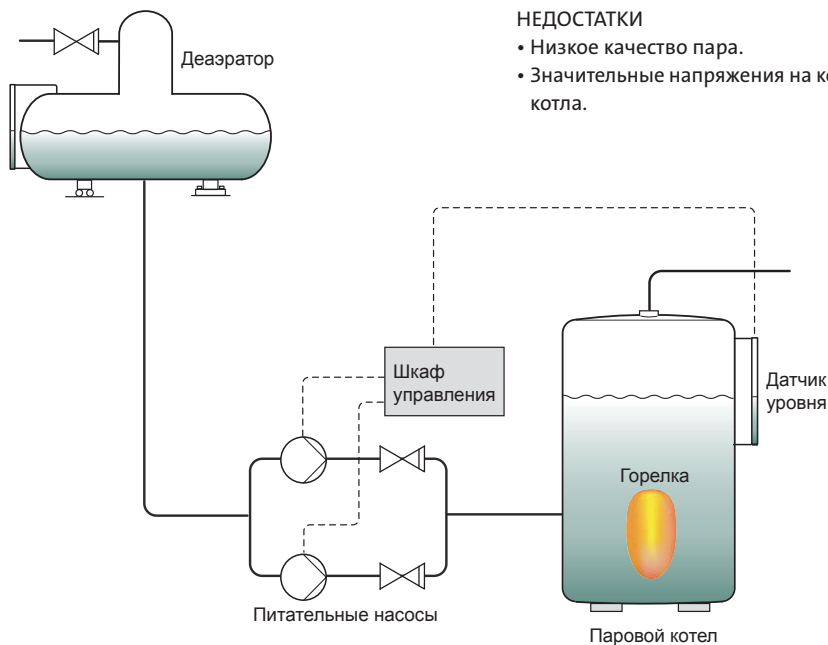
ПРЕИМУЩЕСТВА

- Невысокая стоимость.
- Простота монтажа.
- Отсутствие байпаса.

НЕДОСТАТКИ

- Низкое качество пара.
- Значительные напряжения на конструкции котла.

Рис. 19: Схема со способом подачи воды «Включение/отключение».



Клапан уровня

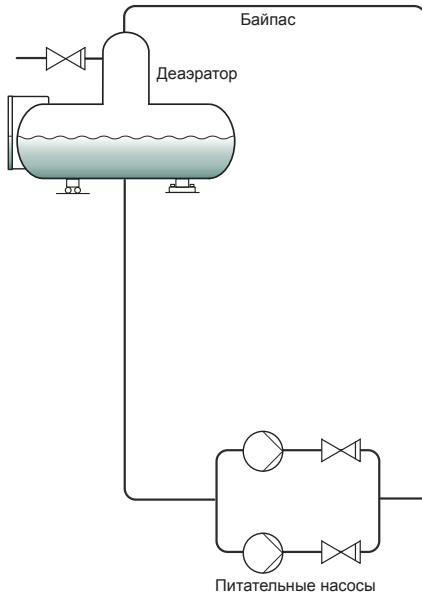


Рис. 20: Клапан уровня.

НАЗНАЧЕНИЕ

В системе такого типа уровень воды в котле регулируется клапаном на подаче, который управляется датчиком уровня или датчиком дифференциального давления, установленными в котле.

Питающий клапан регулирует количество забираемой воды, которое зависит от расхода пара. Однако для этого необходимо, чтобы питательный насос был переведен в режим непрерывной работы.

Эта система работает плавно и идеально подходит для всех типов котлов, как малой, так и большой мощности, и сводит к минимуму риск чрезмерного кипения.

Байпас обычно организуют одним из двух способов: через клапан или через диафрагму. При использовании клапана он обычно открывается при закрытии регулирующего клапана до определенной степени. За счет этого предотвращаются постоянные энергопотери, которые происходили бы при постоянно открытом клапане.

ПРЕИМУЩЕСТВА

- Как сказано, подача питательной воды в котел регулируется в зависимости от расхода пара.

НЕДОСТАТКИ

- Насос должен быть переведен в режим непрерывной работы (потребление электроэнергии).
- При применении байпаса возникают ненужные энергопотери.
- Питательный клапан имеет высокую стоимость.
- Потеря давления на питательном клапане.

ВАЖНО!

Параметры байпаса выбирают по минимальному расходу насоса на возврате конденсата, который составляет 10 % от номинального расхода насоса. Возможно, целесообразно настроить работу насоса таким образом, чтобы при закрытии клапана он останавливался. Однако для этого требуется, чтобы с клапана поступал сигнал.

Клапан уровня и регулирование скорости

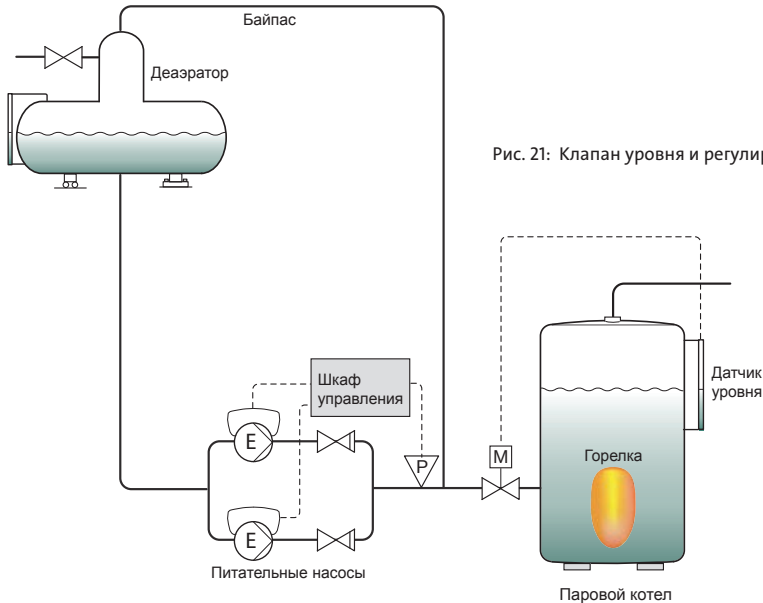


Рис. 21: Клапан уровня и регулирование частоты.

НАЗНАЧЕНИЕ

По сути, это такая же схема регулирования, как и в схеме с клапаном уровня, только вместо насосов со стандартным электродвигателем установлены насосы с частотным преобразователем, которые позволяют регулировать скорость вращения и, соответственно, расход питательной воды в котле.

ПРЕИМУЩЕСТВА

- Подача питательной воды в котел регулируется в зависимости от расхода пара.
- Экономия энергии при эксплуатации насоса.
- Постоянный перепад давления на питательном клапане.

НЕДОСТАТКИ

- Байпас с энергопотерями.
- Питательный клапан имеет высокую стоимость.
- Потеря давления на питательном клапане.

ВАЖНО!

В различных странах действуют различные требования по части выбора питательных насосов по мощности.

Байпас подбирается в соответствии с данными о CR/CV и по минимальному расходу. Возможно, целесообразно настроить работу насоса таким образом, чтобы при закрытии клапана он останавливался. Однако для этого требуется, чтобы с клапана поступал сигнал.

Определить, требуется ли регулирование частоты для обоих насосов, поскольку это ведет к удорожанию, но не обеспечивает той же гибкости, как при попеременной работе насоса.

Регулирование частоты

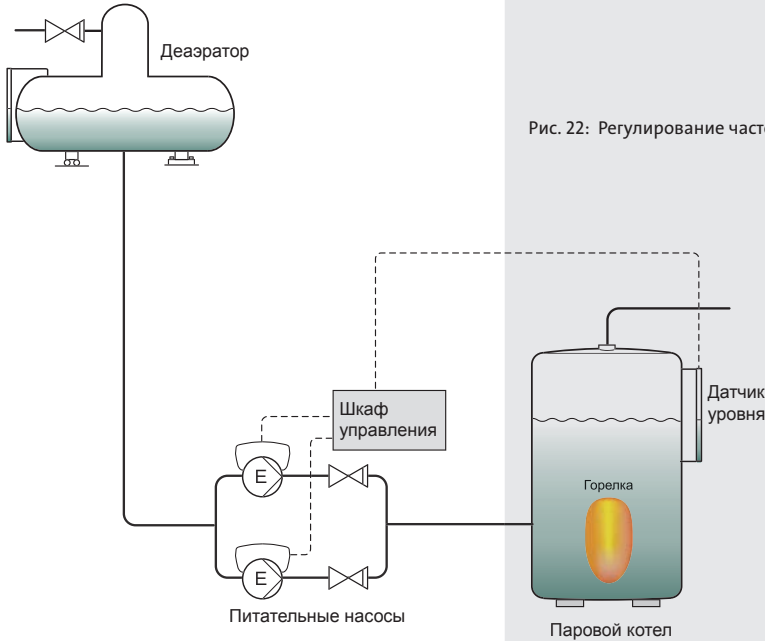


Рис. 22: Регулирование частоты.

НАЗНАЧЕНИЕ

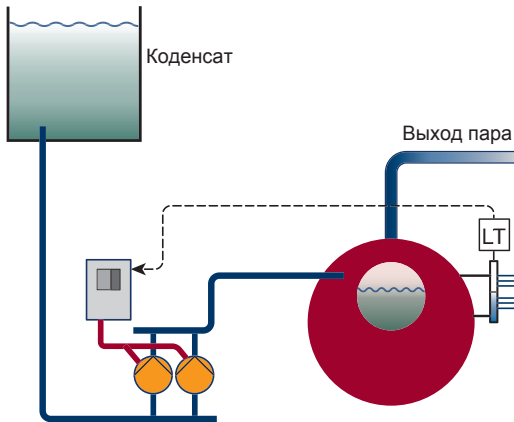
В системах данного типа уровень воды в котле регулируется напрямую регулирующими насосами без использования питательного клапана. Насосами управляет датчик уровня или датчик дифференциального давления, установленные в котле. Таким образом, управление забором воды выполняется в зависимости от расхода пара. Такая система работает плавно и идеально подходит для всех типов котлов как малой, так и большой мощности, сводит к минимуму риск чрезмерного кипения.

КОНТУР РЕГУЛИРОВАНИЯ

Контур регулирования должен быть настроен точно по уровню, чтобы обеспечивалась необходимая точность и останов насоса, если потребность в воде отсутствует.

Котловой питательный насос обычно используется в схеме рабочий/резервный, как показано на рис. 23.

Рис. 23



Электрoэнергия

Регулирование уровня в котле напрямую с помощью регулируемых насосов обеспечивает также и наиболее энергоэффективный способ подачи питательной воды в котел. Отсутствует избыточный расход через байпас и постоянные потери давления на регулирующем клапане

Зачастую простой расчет величины энергопотерь может дать неожиданные результаты.

Пример: паровой котел в стандартных условиях работы с выработкой пара в объеме 20 м³/ч и с потерей давления на клапане в 5 бар.

Если профиль нагрузки котла делится на 5 периодов, можно выполнить следующие расчеты:

Нагрузка 100 % = 20 м³/ч в течение 1752 ч/г

Нагрузка 75 % = 15 м³/ч в течение 1752 ч/г

Нагрузка 50 % = 10 м³/ч в течение 1752 ч/г

Нагрузка 25 % = 5 м³/ч в течение 1752 ч/г

В течение остальных 1752 часов в год — остановлен.

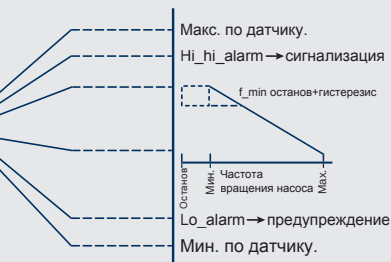


Рис. 24



$$P_{\text{lat}100\%} = \frac{Q \cdot h \cdot 2,72 \cdot \text{часы}}{\eta_{\text{motor}} \cdot \eta_{\text{pump}}} = \frac{20 \cdot 50 \cdot 2,72 \cdot 1752}{0,9 \cdot 0,8} = 6,618 \text{ кВт/ч}$$

$$P_{\text{lat}75\%} = \frac{Q \cdot h \cdot 2,72 \cdot \text{часы}}{\eta_{\text{motor}} \cdot \eta_{\text{pump}}} = \frac{15 \cdot 50 \cdot 2,72 \cdot 1752}{0,9 \cdot 0,8} = 4,964 \text{ кВт/ч}$$

$$P_{\text{lat}50\%} = \frac{Q \cdot h \cdot 2,72 \cdot \text{часы}}{\eta_{\text{motor}} \cdot \eta_{\text{pump}}} = \frac{10 \cdot 50 \cdot 2,72 \cdot 1752}{0,9 \cdot 0,8} = 3,309 \text{ кВт/ч}$$

$$P_{\text{lat}25\%} = \frac{Q \cdot h \cdot 2,72 \cdot \text{часы}}{\eta_{\text{motor}} \cdot \eta_{\text{pump}}} = \frac{5 \cdot 50 \cdot 2,72 \cdot 1752}{0,9 \cdot 0,8} = 1,655 \text{ кВт/ч}$$

Ежегодное энергосбережение: 16,546 кВт/ч в год

Следует учитывать, что в приведенной выше величине энергосбережения не учтена экономия потерь на конце байпаса.

ПРЕИМУЩЕСТВА

- Подача питательной воды в котел регулируется в зависимости от расхода пара.
- Экономия энергии при эксплуатации насоса.
- Отсутствие потерь давления на питательном клапане.
- Экономия в размере стоимости дорогого питательного клапана и стоимости его технического обслуживания.

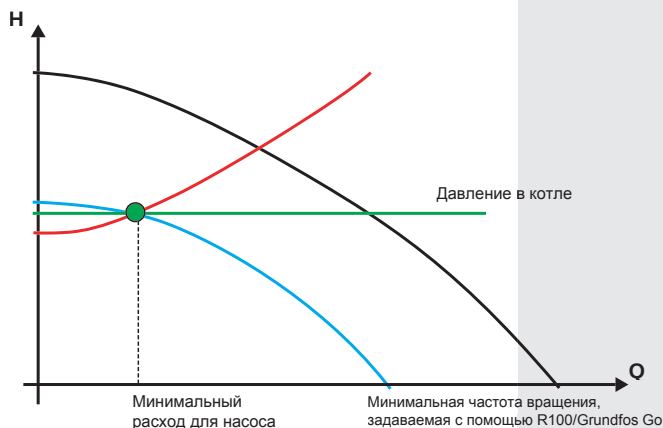
НЕДОСТАТОК

- Ввод в эксплуатацию должен выполняться только квалифицированными специалистами с обеспечением высокой точности.

ВАЖНО!

- Необходимо определить минимальную частоту вращения, обеспечивающую преодоление насосом давления в котле и подачу минимального расхода на насос. Этот расчет может выполняться по «минимальной кривой» насоса (рис. 25).

Рис. 25: График «минимальной кривой» насоса.



- Необходимо обеспечить останов насоса при нулевом потреблении пара. Для этого можно использовать, например, реле высокого уровня в котле.
- Зона регулятора может быть небольшой. Если датчик уровня с сигналом 4–20 мА расположен на уровне 2 метра, а регулирование выполняется в зоне всего 20 см, что соответствует сигналу 2 мА, то диапазон регулирования является очень узким.
- Сигнал уровня обычно инвертируется. Это означает, что при получении сигнала 20 мА от датчика уровня котел заполнен, а насос должен остановиться, а не увеличивать частоту вращения.

Система сбора и возврата конденсата

Питательная вода

Крайне важно обеспечивать правильную работу системы подготовки питательной воды для продления ресурса котла и оборудования. Подготовка питательной воды важна для котлов, систем подачи питательной воды и т.д., особенно в современных котлах с высокой паропроизводительностью. (Чем быстрее происходит преобразование воды в пар в котле или генераторе, тем быстрее происходит концентрация твердых веществ в воде).

Поэтому в качестве примеров с различной степенью соответствия можно привести крупные и небольшие трубчатые водогрейные котлы, обычные газотрувные комплектные котлы и парогенераторы. Поскольку неподготовленная вода содержит соли, ее необходимо очищать для предотвращения образования накипи.

Три основные причины для выполнения водоподготовки:

- Предотвращение коррозии в системе подачи питательной воды котла, в системах парогенерации, сбора и возврата конденсата.
- Предотвращение образования накипи.
- Экономичная работа котла без уноса.

При **КОРРОЗИИ** сокращается толщина металла труб и корпуса, в результате чего приходится снижать давление и в конечном итоге выводить котел из эксплуатации.

НАКИПЬ снижает теплопередачу от огневой стороны воде, в результате чего для поддержания теплопередачи на одинаковом уровне необходимо увеличивать температуру газов, а КПД котла падает в связи с повышенными потерями в дымовых газах.

УНОС — это собирательное понятие, описывающее унос относительно небольшого количества примесей из котловой воды паром. Унос возникает в результате пенообразования, или увлечения воды с паром, или под воздействием двух этих факторов. Пенообразование представляет собой образование пузырьков на поверхности котла, приводящее к переброске котловой воды с паром. Этот процесс аналогичен «толчкам», наблюдающимся при кипячении воды в открытом сосуде. В табл. 1 представлены примеси, которые содержатся в воде, и их влияние на котел.

Таблица 1: Примеси, содержащиеся в воде, и их влияние на котел.

Примеси	Воздействие на котел
Растворенные газы	Коррозия
Соли кальция и магния	Эти соли ответственны за образование накипи в котле. Некоторые соли также вызывают коррозию
Диоксид кремния	Может образовывать очень твердую накипь
Взвешенные и растворенные примеси	Способствуют уносу или являются его причиной

РАСТВОРЕННЫЕ ГАЗЫ

Коррозию вызывают два газа: кислород и углекислый газ. Углекислый газ вызывает коррозию, просто растворяясь в воде и образуя слабый раствор угольной кислоты, которая агрессивно воздействует на металл в системах подачи питательной воды, системах котла, сбора и возврата конденсата. Кислород присутствует в любой воде, потому на поверхности мягкой стали, погруженной в воду, образуется красная окись железа. Это ржавление или коррозия продолжается до полного разрушения металла. Если количество кислорода в воде ограничено, оксидная пленка образуется не так легко, но поверхность стали тускнеет. Тусклость обычно объясняется образованием тонкой пленки оксида железа на поверхности металла, который не так сильно окислен, как красная окись железа, и является более плотной, за счет чего обеспечивается дополнительная стойкость к агрессивному воздействию. В воде с повышенной щелочностью оксидная пленка становится более устойчивой и обеспечивает дополнительную защиту стали, но до достижения определенного уровня щелочности она все еще имеет тенденцию к разрушению на некоторых участках, где образуются язвины.

СОЛИ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ

Существует две формы жесткости: временная и постоянная. Временная жесткость вызвана присутствием бикарбонатов кальция и магния, которые при кипении воды распадаются на карбонаты. В котле происходит следующая химическая реакция:



Бикарбонаты кальция и магния растворяются в воде, но карбонаты не растворяются и выпадают в виде мелкозернистого белого порошка. Этот осадок прикипает к поверхности нагрева котла и образует накипь.

Постоянная жесткость вызвана содержанием сульфатов, хлоридов и нитратов кальция и магния, которые невозможно удалить при помощи кипячения. При этом в условиях работы котла концентрация этих солей жесткости постепенно увеличивается до такой степени, что они выпадают в осадок отлагаются на самом горячем участке поверхности нагрева.

Соли магния, являющиеся источником постоянной жесткости, иногда могут вызывать коррозию вместо образования твердой накипи. Так, например, хлорид магния в процессе гидролиза в котле без очистки образует агрессивную соляную кислоту.

ДИОКСИД КРЕМНИЯ

Диоксид кремния образует накипь аналогично солям постоянной жесткости. Если образующаяся накипь представляет собой смесь диоксида кремния и солей кальция и магния, она имеет высокую жесткость и значительно затрудняет выполнение контроля.

ВЗВЕШЕННЫЕ И РАСТВОРЕННЫЕ ПРИМЕСИ

Взвешенные и растворенные примеси вызывают пенообразование за счет их поглощения стенками отдельных пузырьков, при этом небольшие пузырьки вместо объединения и образования более крупных пузырьков и схлопывания на ранней стадии, отталкиваются друг от друга и образуют значительное количество пузырьков небольшого размера. Если эти пузырьки схлопываются рядом с выходом пара, распыленная струя уносится с паром. Если пузырьки не схлопываются на значительной высоте в паровом пространстве, с паром может уноситься пена.

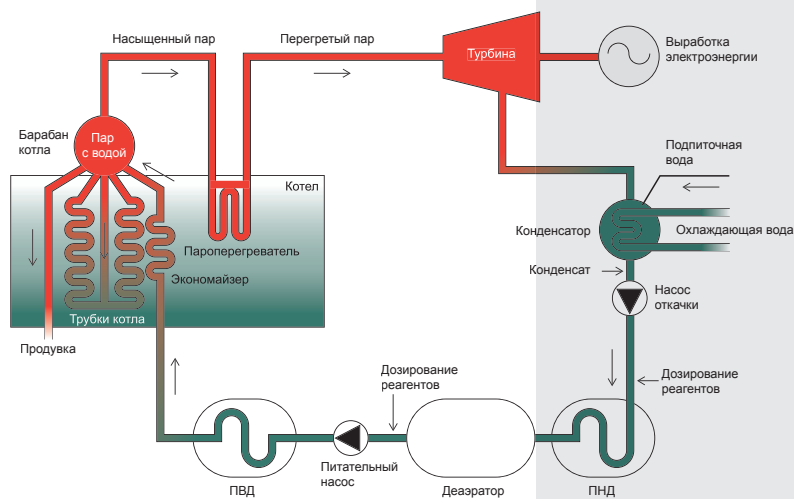
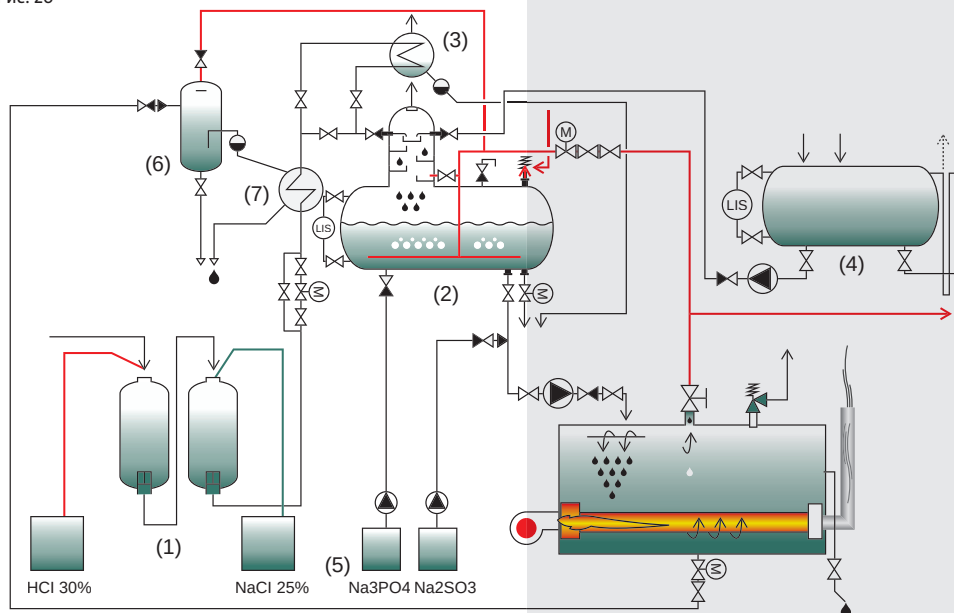
Состав котловой воды должен быть таким, чтобы примеси в ней могли концентрироваться в котле определенное количество раз без превышения допусков для конструкции конкретного котла. Если питательная вода не соответствует этим требованиям, она должна подвергаться предварительной очистке от примесей. Однако необходимость в полном удалении примесей отсутствует, поскольку они могут эффективно и экономично удаляться с помощью химической очистки внутреннего пространства котла.

Точки дозирования и реагенты

В зависимости от применяемого реагента и его назначения существуют различные точки их ввода в системе котла: в приведенных далее схемах показаны участки высокого и низкого давления.



Рис. 26



ПРИМЕНЯЕМЫЕ ВИДЫ ОЧИСТКИ

Можно выделить два вида очистки:

- **Внешняя очистка:** сокращение содержания или удаление примесей из воды за пределами котла. Обычно внешняя очистка используется, когда содержание примесей одного или нескольких типов в питательной воде превышает допуски для конкретной котельной системы. Существует множество типов внешней очистки (умягчение, испарение, деаэрация, мембранная очистка и т.д.), которые могут использоваться для обеспечения необходимых параметров питательной воды для конкретной системы.

- **Внутренняя очистка:** очистка от примесей в системе котла. Реакции протекают в линиях подачи или в самом котле. Внутренняя очистка может применяться отдельно или в сочетании с внешней очисткой. Ее цель заключается в обеспечении надлежащей реакции с питательной водой, очистке от шлама, поглощении кислорода и предотвращении пенообразования в котле.

ВНЕШНЯЯ ОЧИСТКА

Обычно для паровых котлов в качестве основной системы очистки воды (по возможности) применяется внешняя очистка. В зависимости от рабочего давления котла и требований к воде, могут применяться разные виды очистки. Общие указания по выбору вида очистки представлены в табл. 2.

Таблица 2: Применяемые виды очистки в зависимости от рабочего давления.

Рабочее давление	Применяемый вид очистки
<450 psi	Умягчение цеолитом натрия для устранения кальциевой твердости. Выпадение извести для удаления диоксида кремния и снижения жесткости
450 – 900 psi	Деминерализация с целью удаления солей кальция, магния и натрия
>900 psi	Электродиализ и обратный осмос для воды высокой степени чистоты

В приведенной ниже табл. 3 показано требуемое качество воды при увеличении рабочего давления котла.

Таблица 3: Требуемое качество воды в зависимости от рабочего давления котла.

Давление пара в котле (psi)	Максимальное общ. количество растворенных солей (ppm)	Максимальная щелочность (ppm)	Максимальная твердость (ppm)
Низкое – 300	3500	700	<20
300–450	3000	600	0
451–600	2500	500	0
600–750	2000	400	0
750–900	1500	300	0
900–1000	1250	250	0
1000–1500	1000	200	0
1500–2000	750	150	0
2000–3000	150	100	0

Таблица 4: Типовые требования к питательной воде для энергетических котлов.

Параметр	Рекомендуемое значение
Удельная проводимость	100 (212)
Натрий и калий	< 10 мкг/кг (10 ppb)
Диоксид кремния	< 20 мкг/кг
Железо	< 20 мкг/кг
Медь	< 3 мкг/кг
Углерод	< 200 мкг/кг
6000 (19685,04 фут)	81,3 (178,3)
8000 (26246,72 фут)	75,5 (167,9)

Технологии, применяемые в водоподготовке (в порядке повышения качества готовой воды):

- Известкование, содоизвесткование — гашеная известь (гидроксид кальция) вступает в реакцию с бикарбонатами кальция и магния с образованием удаляемого шлама. При этом сокращается щелочная (временная) жесткость. Умягчение известью/содой (кальцинированная сода) снижает нещелочную (постоянную) жесткость в ходе химической реакции.
- Ионный обмен — наиболее широко распространенный метод водоподготовки для жаротрубных котлов, вырабатывающих насыщенный пар.
- Обратный осмос.

Процессы, применяемые для внешней очистки котловой питательной воды (в зависимости от степени чистоты воды):

- Умягчение воды.
- Выщелачивание — удаление большего количества растворенных твердых примесей, чем при традиционном умягчении воды.
- Деминерализация — используется для котлов сверхвысокого давления, например, на электростанциях.

Во многих случаях внешняя подготовка воды не требуется и достаточно только внутренней обработки воды.

ВНУТРЕННЯЯ ОБРАБОТКА

Внутренняя обработка может представлять собой уникальный способ очистки, когда котлы работают при низком или среднем давлении при использовании значительного количества конденсированного пара или при наличии сырой воды высокого качества. Этот тип очистки включает дозирование реагентов, что в свою очередь способствует следующему:

1. Реагирование с водой любой жесткости и предотвращение оседания накипи из этой воды на металле котла. Для этой цели используются ингибиторы накипи.
2. Обработка любых взвешенных веществ, например, шлама жесткости или оксида железа в котле и предотвращение прилипания этих веществ к металлу котла; для этой цели также используются ингибиторы накипи (антискаланты).

3. Подавление пенообразования. При этом допускается разумная концентрация растворенных и взвешенных твердых частиц в котловой воде без уноса пены; применяются пеногасители.

4. Удаление кислорода из воды и обеспечение достаточной щелочности для предотвращения коррозии котла. Обеспечивается за счет введения ингибиторов коррозии.

В качестве дополнительных мер также может использоваться внутренняя очистка для предотвращения коррозии и отложения накипи в системе питательной воды и защита от коррозии в системах сбора и возврата пара.

Можно производить обработку питательной воды, т.е. подпиточной воды, смешанной с возвращаемым конденсатом, для удаления кислорода. Это может быть выполнено в подогревателе питательной воды, деаэраторе или экономайзере. Зачастую для дальнейшего снижения содержания кислорода могут добавляться поглотители растворенного кислорода.

Доочистка

Следует уделять особое внимание очистке пара и конденсата, поскольку после пара остается большое количество реагентов. Добавляются особые реагенты, повышающие летучесть для перемещения вместе с паром и защиты конденсатопроводов от коррозии. Для этого регулируют pH или применяют пленкообразующий агент. Некоторые ингибиторы коррозии вводятся напрямую в конденсатопроводы. Кроме того, могут добавляться пеногасители для предотвращения уноса растворенных веществ с паром.

Используемые реагенты

В процессе предварительной подготовки, которая является важным дополнением в схеме водоподготовки, в воду добавляются определенные количества специальных веществ. Обычно для подготовки воды используются следующие химические соединения:

- Фосфаты-диспергаторы и полифосфаты-диспергаторы (ингибиторы накипи), вступа-

ющие в реакцию с щелочными ионами в котловой воде. Эти вещества нейтрализуют жесткость воды путем образования трикальций-фосфата и нерастворимого соединения, которое может постоянно или периодически сбрасываться и продуваться через низ котла.

- Природные и синтетические диспергаторы (ингибиторы накипи) увеличивают дисперсивные свойства средств подготовки воды. Возможные варианты:

- природные полимеры: лигносульфонаты, танины
- синтетические полимеры: полиакрилаты, малеиновый акрилатный сополимер, сополимер малеинового стирола, сульфонаты полистирола и т.д.

- Связывающие агенты: неорганические фосфаты, которые действуют как ингибиторы и реализуют пороговый эффект.

- Поглотители кислорода: сульфит натрия, гидразин гидрат, производные гидрохинона / пирогаллала, производные гидросиламина, производные аскорбиновой кислоты и т.д. Эти поглотители, после обработки катализатором или без нее, снижают содержание оксидов и растворенного кислорода и могут пассивировать металлические поверхности. Выбор продукта и дозировка будут зависеть от того, используется ли подогреватель-деаэратор.

- Пеногасители и присадки, предотвращающие смешивание воды с паром: смесь поверхностно-активных веществ, изменяющих поверхностное натяжение жидкости, способствующих удалению пены и предотвращающих унос частиц воды с паром.

Имеющиеся технологии

Таблица 5: Предлагаемые насосы.

Процесс	Оборудование	Продукция Grundfos	Примечания
Питание котла	Многоступенчатый центробежный насос (Low NPSH)	Насос CR с доработанным программным обеспечением	Опыт применения: CRN 64-2 с воздушноохлаждаемой насадкой для питания котла при высокой температуре. Опыт применения: при применении CR32 и CR45 для питания котла обеспечивается 40%-ая экономия энергозатрат.
Рециркуляция конденсата	Центробежные насосы	CR, NB/NK, MTR	
	Насосы ин-лайн с «сухим» ротором	Paco VLS	
	Насосы одностороннего всасывания	Paco LF	
Удаление кислорода	Дозирующие насосы	SMART Digital, DME	
Дозирование фосфатов	Механические дозирующие насосы	DMH	За счет применения фосфатов обеспечиваются буферные свойства воды, в результате чего колебания уровня pH сводятся к минимуму. Кроме того, происходит выпадение кальция и магния в виде мягких отложений, а не в виде твердой накипи. При этом также образуется защитный слой на металлических поверхностях котла. Однако при реагировании с солями жесткости фосфат образует шлам. Для удаления шлама при плановом останове котла необходимо применять продувку или другие подобные процедуры.

ТИПЫ КОНДЕНСАТООТВОДЧИКОВ

- Термостатический (срабатывающий при изменении температуры среды) — Температура насыщенного пара определяется по его давлению. В паровом пространстве пар отдает свою энтальпию испарения (теплоту) с образованием конденсата с температурой образования пара. В результате дальнейших теплопотерь температура конденсата падает. При обнаружении этого снижения температуры термостатный конденсатоотводчик пропускает конденсат. Когда пар достигает конденсатоотводчика, температура повышается и конденсатоотводчик закрывается.

- Механический (срабатывающий при изменении плотности среды)

- Этот тип конденсатоотводчиков срабатывает при разности в плотности пара и конденсата. Эти конденсатоотводчики включают «конденсатоотводчики с поплавковым клапаном» и «конденсатоотводчики с открытым поплавком». В «конденсатоотводчиках с поплавковым клапаном» шар поднимается при поступлении конденсата, и открывает клапан, который проводит более плотный конденсат. В «конденсатоотводчиках с открытым поплавком» открытый поплавок всплывает при поступлении пара в конденсатоотводчик и запирает клапан. Оба варианта, по сути, являются «механическими» по принципу работы.

- Термодинамический (срабатывает при изменении гидродинамических свойств среды) — Термодинамические конденсатоотводчики частично работают по принципу образования выпара из конденсата. В эту группу входят «термодинамические», «дисковые», «импульсные» и «лабиринтные» конденсатоотводчики.

Этому типу также частично соответствуют «конденсатоотводчики с неподвижной диафрагмой», которые нельзя точно определить как автоматические устройства, поскольку в них просто предусматривается несколько отверстий фиксированного диаметра для пропуска расчетного объема конденсата при определенном наборе условий.

Все конденсатоотводчики работают по следующему принципу: горячий конденсат, выпускаемый при динамическом давлении, испаряется и создает смесь пара и воды.

Подбор насоса

В ЕС для подбора насосов необходимо использовать положения нормы EN12952–7. При этом необходимо сверяться с требованиями, действующими в конкретной стране.

КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА РАСХОДА ПО EN12952–7

Производительность питательного насоса должна не менее чем в 1,25 раза превышать допускаемый выход пара всех паровых котлов. В целях безопасности достаточно принять производительность с коэффициентом 1,15 от максимальной номинальной нагрузки в непрерывном режиме. Для обеспечения готовности и учета различий в условиях эксплуатации может потребоваться более высокий запас.

Если вода в котле постоянно выводится с продувкой в объеме свыше 5% от допустимого выхода пара, производительность питательного насоса необходимо увеличить на соответствующий процент. Например, если объем продувок составляет 8% от допустимого выхода пара, производительность питательного насоса должна быть увеличена на 8%.

Поэтому в основном производительность насоса должна быть на 25% больше указанной в паспорте котла в части расхода. Необходимо учесть и количество воды в байпасе. Количество воды должно контролироваться диафрагмой или регулирующим клапаном, который может открываться одновременно с регулирующим вентилем.

КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА ДАВЛЕНИЯ ПО EN12952–7

Питательный насос должен обеспечивать подачу питательной воды в паровой котел при указанном выше максимальном допустимом давлении и в объеме, соответствующем допускаемому выходу пара в 1,1 раза больше допустимого рабочего давления.

В некоторых странах допускается снижение на 10%, если защитный клапан имеет определенный типоразмер. Соответствующую информацию необходимо уточнять по местным нормам и правилам.



Поэтому в основном типоразмер должен быть на 10 % больше указанного в паспорте котла в части давления. Необходимо учитывать потери давления на регулирующем вентиле и в трубах между насосом и котлом.

Если указанные выше правила и нормы не используются, нельзя просто считать расход и давление на паспортной табличке котла и использовать эти данные для подбора насоса. Это связано с высокой температурой воды и, следовательно, со сниженной плотностью перекачиваемой воды. См. приведенный ниже пример.

Следует учитывать, что на насосы в составе котлоагрегатов не распространяется Директива на оборудование, работающее под давлением 97/23/ЕС (PED) в соответствии с руководством 1/11.

ПРИМЕР РАСЧЕТА РАСХОДА И НАПОРА

Следующая информация взята с паспортной таблички котла, см. рис. 28.

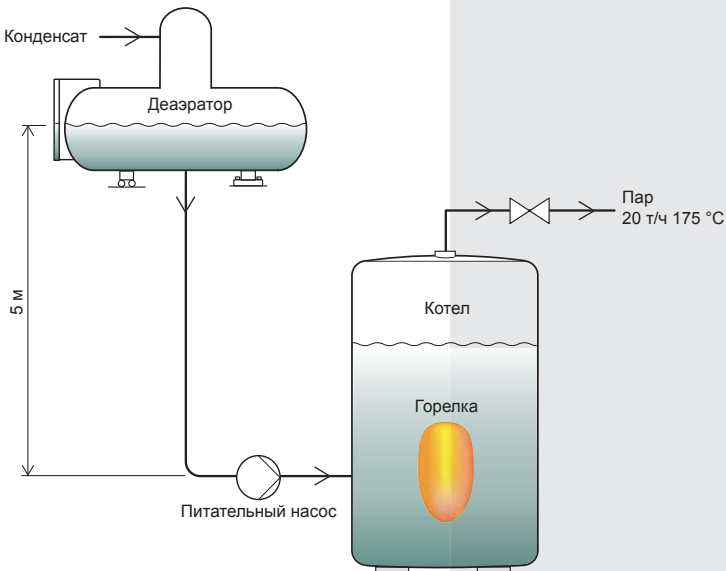
$Q_{\text{котел}} = 20 \text{ т/ч}$

$P_{\text{котел макс.}} = 12,5 \text{ бар}$

$P_{\text{котел раб.}} = 10 \text{ бар}$

Темп. = 175°C

Рис. 27



На приведенной выше иллюстрации видно, что указанная на паспортной табличке температура 175 °C является температурой пара на выходе из котла. Однако эта информация бесполезна, поскольку насос не может «знать», что происходит в котле. **При подборе типоразмера следует обязательно ориентироваться на температуру в деаэраторе.**

В таблице параметров паров приводятся следующие данные воды **при температуре 104 °C:**

Плотность (ρ) = 955,2 кг/м³

Давление паров = 1,1668 бар

Сначала данные с паспортной таблички необходимо преобразовать в единицы измерения м³/ч и м.в.ст, которые могут использоваться при подборе.

$$Q_{Boiler} = \frac{Q_{Boiler}}{\rho} = \frac{20 \cdot 10^3}{955,2} = 20,9 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$h_{Boiler} = \frac{p_{Boiler}}{\rho \cdot g} = \frac{12,5 \cdot 10^5}{955,2 \cdot 9,81} = 133,4 \text{ м}$$

$$h_{Operating} = \frac{p_{Boiler}}{\rho \cdot g} = \frac{10 \cdot 10^5}{955,2 \cdot 9,81} = 106,7 \text{ м}$$

Применив коэффициенты по EN 12952–7, получаем следующие значения расхода и напора:

$$\begin{aligned} Q_{насос макс.} &= 1,25 \times Q_{котел} = 1,25 \times 20,9 = 26,1 \text{ м}^3/\text{ч} \\ Q_{насос пост.} &= 1,15 \times Q_{котел} = 1,15 \times 20,9 = 24,0 \text{ м}^3/\text{ч} \\ h_{насос} &= 1,1 \times h_{котел} = 1,1 \times 133,4 = 146,7 \text{ м} \end{aligned}$$

В приведенном примере не учитывались перепад давления на регулирующем вентиле и расход на байпасе.

Теперь рассчитаны все значения и можно выбрать насос. Следует учитывать, что на насосе не будет одновременно присутствовать повышенный расход и давление, принятые с учетом коэффициентов запаса.

Подбор выполняется, как описано ниже и в соответствии с рис. 28.

Ситуация 1:

Расход 26,1 м³/ч с коэффициентом запаса при напоре 133,4 м

Ситуация 2:

Напор 146,7 м с коэффициентом запаса при расходе 20,9 м³/ч

Выбирается следующий насос, обеспечивающий возможность работы в обеих ситуациях.

Теперь насос выбран, но до размещения заказа необходимо рассчитать значение $NPSH_A$.

$NPSH_A$ = ИМЕЮЩЕЕСЯ давление, подаваемой из системы на насос.

$NPSH_R$ = ТРЕБУЕМОЕ давление на насосе для предотвращения кавитации.

Для предотвращения кавитации в насосе должно соблюдаться следующее неравенство: $NPSH_A > NPSH_R$

$$NPSH_A = h_b - h_f - h_v \pm h_{geo} - h_s$$

$NPSH_A$ = Имеющееся давление на входе в насос.

h_b = Атмосферное давление и рабочее давление деаэратора на месте работы насоса.

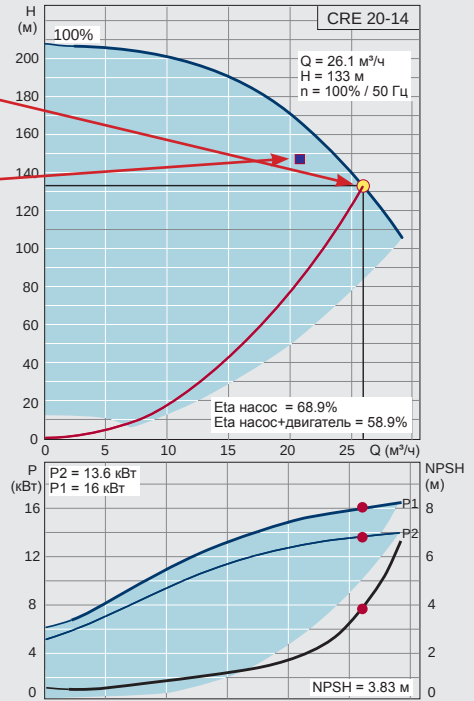
h_f = Потери на трение в подводящем трубопроводе.

h_v = Давление паров жидкости.

h_{geo} = Высота между уровнем воды в деаэраторе и всасывающем патрубке насоса.

h_s = Коэффициент запаса (обычно задается от 0,5 до 1 м).

Рис. 28



ПРИМЕР:

При использовании указанного ранее значения и размещении резервуара на 5 м выше насосов выводится следующая формула:

$$NPSH_A = \frac{P}{\rho \cdot g} - h_f - \frac{P}{\rho \cdot g} - h_{geo} - h_s = \frac{(1.01325 + 0.15355) \cdot 10^5}{955.2 \cdot 9.81} - 2 - \frac{1.1668 \cdot 10^5}{955.2 \cdot 9.81} + 5 - 1 = 2.0 \text{ м}$$

Как указывалось ранее, плотность воды необходимо принимать при температуре 104 °С, поскольку насос рассчитан на эти условия.

При этом, с другой стороны из формулы следует, что h_b и h_v уравниваются друг друга. Причина заключается в том, что обычно деаэратор работает при температуре кипения

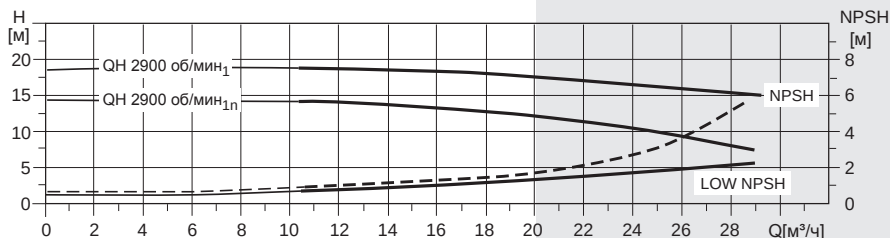
Это явление неизбежно происходит в системе котла, поэтому формула может быть упрощена:

$$NPSH_A = h_f \pm h_{geo} - h_s$$

Вместо кипения для удаления кислорода из воды можно добавлять реагенты. В таких условиях вода нагревается примерно до 80 °С.

В этих условиях имеющийся кавитационный запас $NPSH_A$ равен 2 м, а у выбранного насоса значение кавитационного запаса значительно выше. В связи с этим необходимо рассматривать исполнения насосов с низким кавитационным запасом, см. рис. 29

Рис. 29



Как показывает кривая, этот насос может использоваться только в исполнении с низким допусаемым кавитационным запасом.

Требуемый насос найден, см. рис. 30. Если ввести фактическую рабочую точку, она будет выглядеть хорошо, а у насоса, имеющего на 2 рабочих колеса меньше, еще лучше, см. рис. 31. При этом следует учитывать, что, если выбран насос с 12 рабочими колесами, он должен работать абсолютно синхронно для достижения рабочей точки согласно нормам EN. Выбор зависит от условий применения и нужд.

Рис. 30

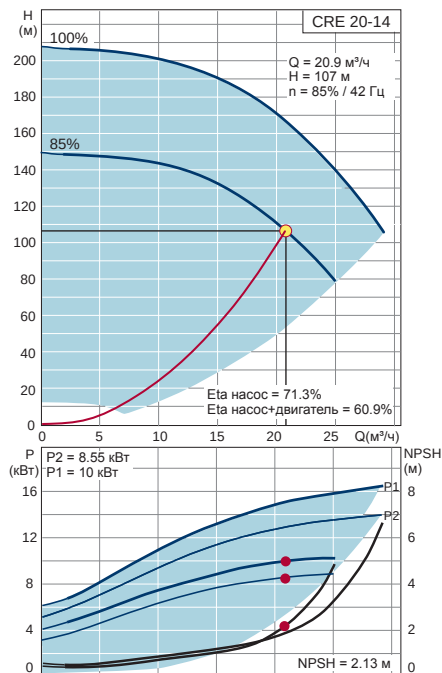
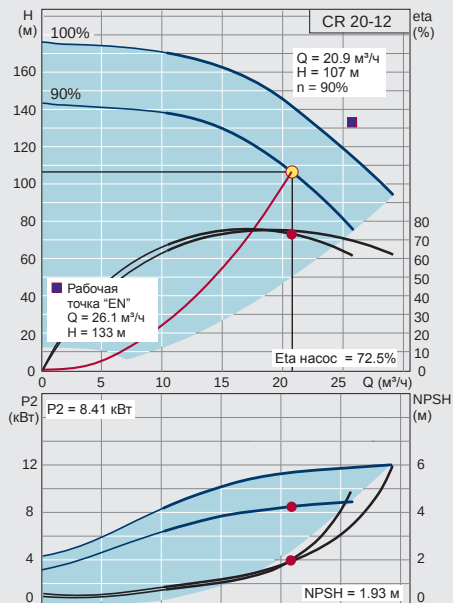


Рис. 31



Решения Grundfos

Решения I-Solutions

«I-Solutions» — это термин компании Grundfos для обозначения двигателей, оснащенных частотно-регулируемым приводом — MGE (встроенный) или CUE (внешний).

КРАТКО О ПРЕИМУЩЕСТВАХ

1. Энергосбережение

- Снижение стоимости жизненного цикла и выбросов CO₂.

2. Повышенный комфорт

- Сниженный шум от установки.
- Постоянство давления.
- Отсутствие гидроударов.

3. Поддержка технологических процессов

- Автоматическая адаптация к изменениям в системе.
- Управление и регулирование важных параметров.

4. Сниженная общая стоимость системы

- Использование регулируемых насосов позволяет отказаться от некоторых клапанов.
- Сниженная стоимость установки и пусконаладки.

5. Защита насоса, двигателя и электроники

- Сниженная нагрузка на двигатель, насос и систему.
- Защита двигателя и электроники от перегрузки.

КОМПЕНСАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСА

Питательные насосы котлов зачастую работают при низком расходе, но при полном давлении котла. При наличии таких условий в центробежных насосах имеются некоторые ограничения по естественной производительности, поскольку характеристика насоса становится неустойчивой в зоне низкого расхода. Эта ситуация становится еще более выраженной, если кривая характеристики насоса имеет плоскую форму, как на подаче питательной воды в котел, при этом значительно усложняется задача регулирования. См. рис. 32 и рис. 33.

Рис. 32

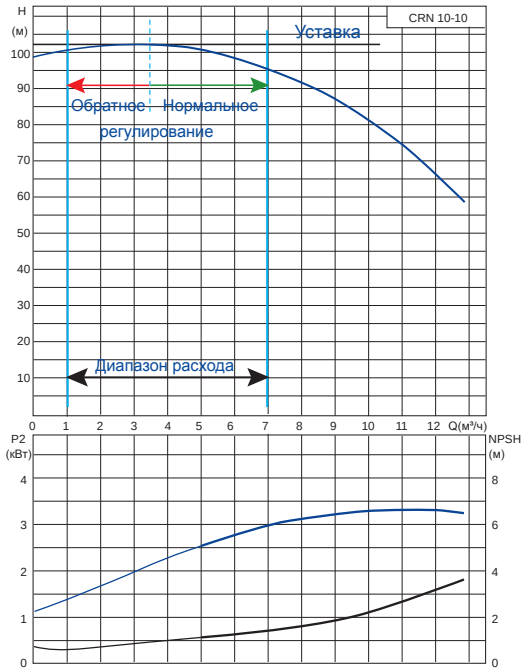
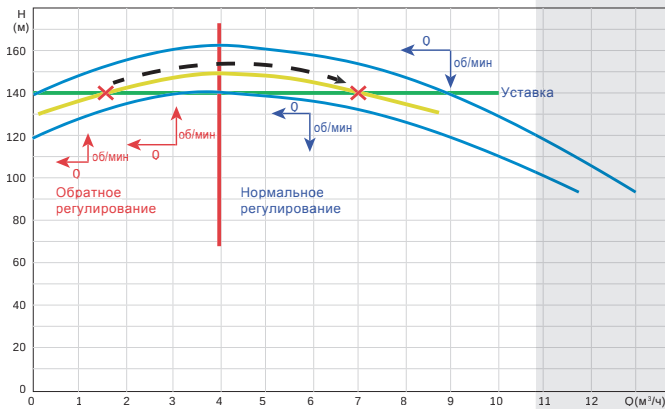


Рис. 33



Частотные преобразователи Grundfos имеют особую функцию, позволяющую компенсировать это явление за счет изменения внутренней схемы управления двигателем.

Максимальная частота вращения двигателя увеличивается до 55 Гц или, в случае необходимости, до 58 Гц, при этом одновременно увеличивается проскальзывание электродвигателя.

Если насос работает при низкой нагрузке, обусловленной низким расходом, частота вращения высокая. Если расход увеличивается, также увеличивается и нагрузка, а из-за повышенного проскальзывания частота вращения насоса снижается и происходит возврат к исходной кривой характеристик насоса при 50 Гц, даже если двигатель все еще работает с частотой 55 Гц. См. рис. 34.

Кривая характеристики насоса непрерывно падает, и неустойчивая часть кривой исключается.

Важно: контур регулирования может работать в соответствии с требованиями. См. рис. 35.

Камера воздушного охлаждения

Как указано в разделе «Экономайзер», питательные насосы котла иногда устанавливаются с расчетом по давлению и температуре котла. Эти температуры иногда превышают допустимые температуры для уплотнений вала.

Для решения этой проблемы может использоваться камера воздушного охлаждения.

Насос CR, оснащенный камерой воздушного охлаждения, может работать при температуре воды до 180 °С и температуре масла-теплоносителя до 240 °С.

Камера воздушного охлаждения отделяет камеру уплотнения от насоса, при этом создается эффект изоляции по типу термоса. Охлаждающий воздух от электродвигателя обеспечивает охлаждение камеры. Через небольшой зазор на валу между насосом и воздушной камерой поступает небольшое количество перекачиваемой жидкости, обеспечивающее постоянное заполнение камеры уплотнения жидкостью.

Рис. 34

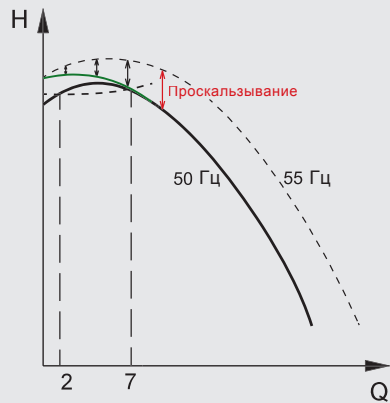
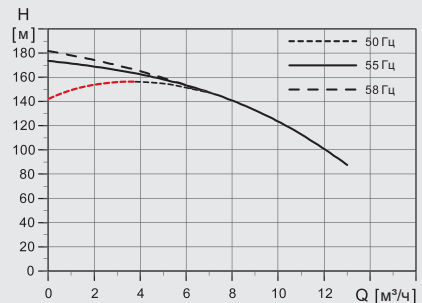


Рис. 35



Решение с камерой воздушного охлаждения является «автономным» насосом, что означает отсутствие потребности во внешней жидкости для охлаждения уплотнения вала.

Низкий допустимый кавитационный запас (Low NPSH)

Насос CR с низким допусаемым кавитационным запасом фактически является стандартным насосом с рабочим колесом увеличенного размера на первой ступени. Увеличенное рабочее колесо имеет увеличенный вход по сравнению со стандартным рабочим колесом и, следовательно, лучше подходит для работы при низком давлении на входе и с горячей водой.

Насос с низким допустимым кавитационным запасом может работать при том же рабочем давлении и температуре, что и стандартные насосы CR.

MAGdrive

Двойное уплотнение вала MAGdrive

Для питательных насосов, осуществляющих перекачку из вакуумной емкости, имеется риск натекания воздуха в насос через уплотнение вала. Это происходит, когда два питательных насоса работают параллельно по схеме рабочий/резервный. При этом существует риск того, что резервный насос может пропускать воздух через уплотнение вала под воздействием вакуума в деаэраторе/ конденсатосборнике. Эту проблему можно устранить, если установить насосы с двойными уплотнениями вала оснащенным гидрозатвором или насосы с системой MAGDrive. Дополнительная информация о выполняемых по индивидуальному заказу насосах приведена в каталоге Grundfos.

Двойное торцевое уплотнение

Может применяться в установках, работающих с горячей водой, например, в экономайзерах, где для охлаждения торцевых уплотнений используется охлаждающая жидкость.

Может также применяться в вакуумных установках, где необходимо исключить попадание воздуха в конденсат.

Рис. 36: Камера воздушного охлаждения.

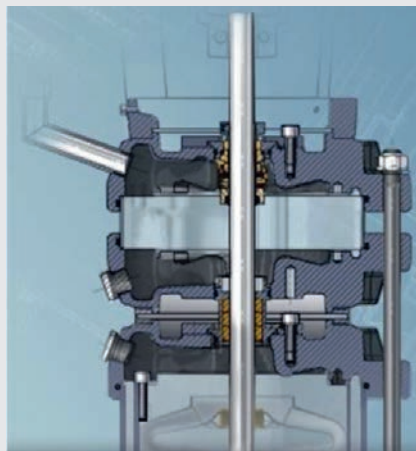


Рис. 37: Двойное торцевое уплотнение.



Усиленный подшипник электродвигателя

Усиленный подшипник электродвигателя — это дополнительный фланец с усиленным шарикоподшипником для восприятия осевых усилий в обоих направлениях.

Фланец обеспечивает длительный ресурс в тяжелых условиях эксплуатации.

Усиленный подшипник электродвигателя, как правило, применяют в следующих случаях:

- Если насос оснащен стандартным электродвигателем, усиленный подшипник может компенсировать гидравлические усилия от насоса, обеспечивая приемлемый ресурс подшипников двигателя, не предназначенных для применения в насосах.
- Если насос работает при давлении на входе выше рекомендованного предельного значения.

MP 204

Если насосы в системе котла не имеют частотных преобразователей, необходимо обеспечить их защиту другим способом. Для этой цели компания Grundfos разработала систему интеллектуальной защиты электродвигателей MP 204, которая не только защищает двигатель, но также может кое-что поведать о работе насоса/двигателя.

Эта система, помимо прочего, может измерять следующие параметры:

- Выдача нагрузки.
- Параметры питания.
- Температура.
- Замыкание на землю.

CUE

Если указанное выше решение «E-solution» не подходит, частотный преобразователь устанавливается непосредственно на двигатель, или, если двигатель слишком мощный для такой установки, компания Grundfos также предоставляет частотный преобразователь настенного монтажа CUE.

Основные преимущества CUE:

- Очень простой в использовании мастер запуска.
- Графический дисплей GRUNDFOS.

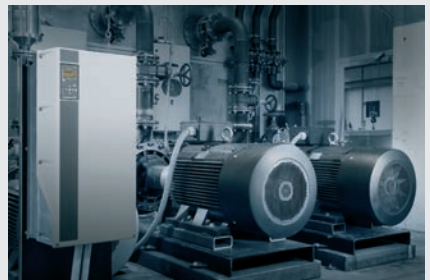
Рис. 38: Фланец с подшипником.



Рис. 39: MP 204.



Рис. 40: CUE.



- Наличие знаменитого функционала Е-насоса от GRUNDFOS в стандартной комплектации.
- Предварительное программирование для насосов GRUNDFOS.
- Фильтр защиты от радиопомех (C1) для бытового применения:
 - 1 x 200–240 В — все типоразмеры
 - 3 x 200–240 В — все типоразмеры
 - 3 x 380–500 В — до 90 кВт включительно
- Фильтр защиты от радиопомех (C2 или C3) для промышленного применения — для всех остальных типоразмеров и напряжений.
- Контроль состояния подшипников в стандартной комплектации (для стандартных двигателей — с возможностью повторной смазки).
- Функция нагрева в остановленном состоянии (для двигателей в зонах с конденсацией).
- GENiBus от GRUNDFOS в стандартной комплектации.

CIM/CIU

Изделия CIM/CIU разработаны компанией Grundfos, поэтому указанные ранее электронные решения, например, двигатель MGE, MP204 и CUE могут осуществлять связь с любыми другими системами управления. Шлюзы CIM/CIU могут обеспечивать адаптацию интерфейсной шины Grundfos к любым другим стандартам интерфейсных шин, представленным на рынке, например, Profibus, Modbus и Lon. Изделия линейки CIM/CIU предлагаются в двух исполнениях: одно для настенного монтажа и одно в виде дополнительной платы. Дополнения доступны для ограниченной серии изделий.

Модуль контроля

Модуль контроля CR от Grundfos Monitor является продуктом, который выводит процесс заблаговременного предупреждения на новый уровень. Обычно, когда мы говорим о системах контроля, имеются в виду только сигналы «Норма» и «Тревога!», но в системе контроля CR вводится также сигнал «Предупреждение». Это предупреждение дает запас времени, необходимый для предотвращения ненужных потерь энергии и поломки и, что более важно, для предотвращения производственных потерь, связанных с недостаточной выработкой пара. Это новое автоматизированное средство контроля может эффективно прогнозировать падение КПД и отказ насоса и предотвращать кавитацию в цен-

Рис. 41: CIM/CIU.



Рис. 42: Модуль контроля.



тробежных насосах ин-лайн. При этом проблемы кавитации, которые в конечном итоге приводят к падению КПД и поломке насосов, являются наиболее распространенными неисправностями в системах питания котлов.

Несмотря на сложность модуля, система осуществляет связь только на трех уровнях: «Норма», «Предупреждение» и «Тревога». Два последние сигнала сопровождаются сообщениями на простом языке с интерпретацией данных, вызвавших появление предупреждения.

Предотвращение кавитации

Помимо выполнения всех стандартных измерений и интеллектуального измерения КПД системой также определяется, насколько близко параметры установки находятся к режиму кавитации. Обычно первым признаком кавитации в насосе является появление в нем подозрительного шума, напоминающего шорох гравия.

Модуль контроля CR может постоянно выдавать данные об имеющемся кавитационном запасе в любой момент времени, что особенно важно для систем подачи питательной воды в котел, где постоянно присутствует риск кавитации (иногда неизбежный). И это еще не все: если кавитация была вызвана неисправностью или отклонениями в схеме работы котла, модуль контроля CR может незамедлительно определить по данным контроля КПД, что кавитация привела к повреждению насоса. Иными словами, **модуль контроля CR Monitor обеспечивает спокойствие оператора.**

Экономия электроэнергии

Контроль КПД насоса позволяет анализировать состояние гидравлических элементов насоса. Таким образом, можно выявить не только неисправности в системе, но также определить простой износ гидравлических элементов насоса, о чем модуль контроля CR предупредит прежде, чем насос полностью выйдет из строя. При этом контроль КПД становится инструментом принятия решений. Таким образом, после достижения определенного снижения КПД может быть принято решение об обслуживании насоса с восстановлением его исходной производительности.

При этом также обеспечиваются сжатые сроки технического обслуживания и сокращение финансовых затрат. Если насос не требует обслуживания, то смысл в его обслуживании каждые 12 месяцев отсутствует. Поэтому, **основной задачей является круглосуточный контроль оптимального КПД независимо от рабочей точки.**

Ниже рассмотрены некоторые уникальные особенности и преимущества.

КОНТРОЛЬ ЗА РАБОТОЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И НАСОСА:

- Энергоэффективность (отсутствие ненужных потерь электроэнергии).
- Пониженное/повышенное напряжение.
- Перегрев.
- Повышенное энергопотребление.
- Контроль состояния подшипников.
- Защита от сухого хода.
- Предотвращение кавитации.

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ И ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ ЖИДКОСТИ:

- Отклонение технологического процесса от заданных параметров.
- Температура перекачиваемой жидкости.
- Давление.
- Расход.
- Вспомогательный аналоговый вход.

СНИЖЕНИЕ ОБЪЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И СКЛАДА ЗАПЧАСТЕЙ:

- Отсутствие необходимости в периодическом (зачастую ненужном) обслуживании.
- Сокращение запасов запчастей.
- Сокращение трудозатрат на обслуживание.
- Регулярные проверки насоса вручную больше не требуются.
- Время непредвиденного простоя сведено до абсолютного минимума.
- Модуль контроля CR обеспечивает круглосуточный контроль 7 дней в неделю 365 дней в году.

Контроль уровня конденсата

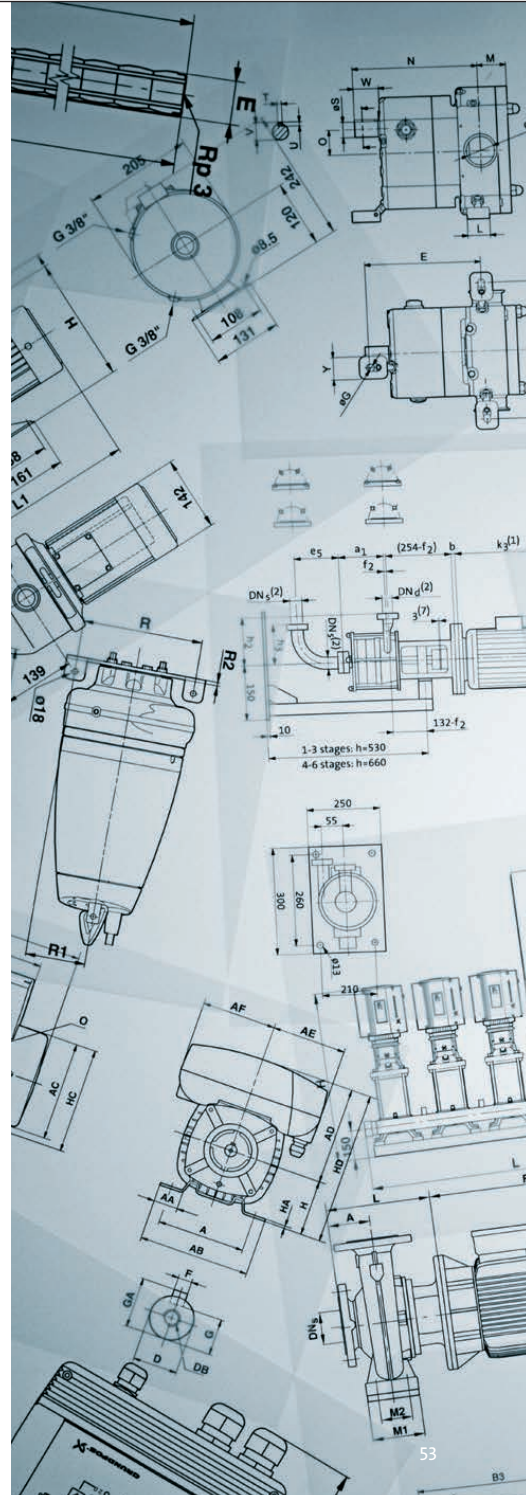
Обычно для этих целей использовались поплавковые устройства. В современных средствах контроля используются датчики уровня, выдающие выходной сигнал для изменения положения регулирующего клапана. Этот тип системы отличается не только тем, что требует меньшего объема технического обслуживания, но и тем, что при использовании соответствующего контроллера в одном датчике могут быть совмещены устройства сигнализации и удаленной индикации.

Датчики уровня могут быть настроены на выдачу сигнала о высоком уровне воды, нормальном рабочем (или контрольном) уровне воды и низком уровне воды. Сигналы от датчика могут выдаваться на регулирующий клапан на линии подачи холодной подпиточной воды.

Датчик оснащен защитной трубкой внутри питательного резервуара для его защиты от турбулентных потоков, которые могут привести к искажению показаний.

Датчик уровня воды

На питательном резервуаре рекомендуется предусматривать локальный датчик уровня или водомерное стекло, которое позволяет определять и подтверждать уровень содержимого, а также вводить в эксплуатацию датчики уровня.

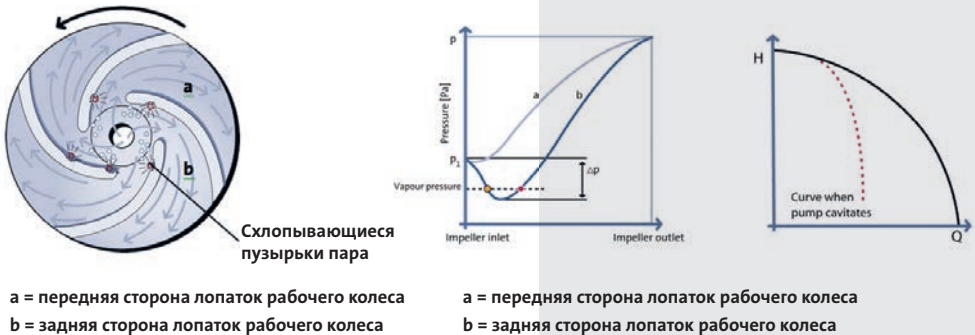


Теория/Проблемы

Кавитация

Поскольку вода в деаэраторе или конденсатосборнике имеет высокую температуру, выполнять перекачку без возникновения в насосе кавитации достаточно сложно. Чем выше температура, тем выше вероятность возникновения кавитации. Это связано с тем, что насос должен «затягивать» воду в первое рабочее колесо, в результате чего давление немного снизится, а вода начнет испаряться. Когда давление на рабочем колесе повышается и пузырьки пара начинают схлопываться и возвращаться в жидкую форму, происходит процесс, называемый кавитацией. В связи с этой проблемой деаэратор / конденсатосборник часто размещается на несколько метров выше входа насоса для обеспечения максимально возможного подпора. Насос может быть выполнен со специальной конструкцией первой ступени для снижения значения допустимого кавитационного запаса. Более подробная информация приведена в разделе, посвященном подбору насосов.

Рис. 43



Гидравлический удар

Гидравлический удар (гидроудар) представляет собой скачок давления или волну, в результате действия которой движущаяся среда (обычно жидкая, но иногда также и газовая) принудительно останавливается или внезапно меняет направление (изменение момента). Гидравлический удар обычно происходит при резком закрытии клапана на конце системы трубопроводов и распространении волны по трубе.

Эта волна давления может привести к значительным проблемам, связанным с шумом и вибрацией, вплоть до разрушения труб. Воздействие импульсов гидроудара можно сократить за счет применения аккумуляторов и других средств.

Гидроудар в системах питания котла возникает при переходе с рабочих на резервные насосы и обратно. Зачастую в резервном насосе присутствует холодная вода, и при контакте столба холодной воды с теплой частью может произойти гидроудар. Он также может произойти между насосом и котлом при быстром закрытии клапанов, например, при переходе с байпаса на заполнение котла.

Отрыв столба жидкости

Отрыв столба жидкости — это явление, которое может наблюдаться в системах питания котла между деаэратором и насосами. Это происходит в том случае, если давление в трубопроводе резко падает до давления насыщенных паров жидкости, при этом жидкость испаряется, и в трубопроводе образуются «пузырьки» пара. Вероятность этого явления возрастает, если в трубопроводе установлены отводы или арматура (имеется уклон трубопровода). Если впоследствии давление становится выше давления паров жидкости, пар в пузырьках возвращается в жидкое состояние, оставляя вакуум в пространстве, которое ранее занимал пар. Затем в это пространство под воздействием перепада давления с ускорением поступает жидкость с любой стороны вакуума. Столкновение двух столбов жидкости (или одного столба жидкости при закрытом конце) приводит к гидроудару и вызывает значительный и практически мгновенный скачок давления. Это явление происходит очень быстро. В некоторых случаях было зарегистрировано пиковое давление свыше 120 бар. Это пиковое давление может привести к разрушению всех датчиков на входе насоса и в то же время поднимать промежуточные камеры в насосе с таким взрывным усилием, которое способно повредить подшипники двигателя.

ПРОДУВКА / УДАЛЕНИЕ ШЛАМА

В котлах зачастую встречается проблема кавитации, возникающая при нижней продувке котла.

Нижняя продувка — это процесс, при котором вода выпускается из резервуара в нижней части котла. Продувка выполняется в связи с тем, что твердые частицы, содержащиеся в воде, могут сохраняться во взвешенном состоянии при перемешивании среды в котле, но когда перемешивание останавливается, частицы оседают на дно котла. Если твердые частицы не удалять, они будут скапливаться и в дальнейшем способствовать ухудшению теплопередачи из огневых труб котла, что приведет к перегреву труб или даже прогару.

Обычно удаление этого шлама производится короткими резкими импульсами через клапан относительно большого размера в нижней части котла. Цель заключается в том, чтобы выдержать время, необходимое для перераспределения шлама таким образом, чтобы при следующей продувке можно было бы удалить большее количество шлама.

Длительность и частота продувки могут быть различными у различных изготовителей котлов.

Проблема с насосом начинается, когда длительность продувки увеличивается настолько, что давление в котле начинает падать. Это может привести к работе насоса за пределами характеристики, что означает существенное увеличение требуемого значения допустимого кавитационного запаса.

ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЙ КЛАПАН

Предохранительный клапан является очень важным элементом арматуры. Его функция заключается в защите корпуса котла от повышенного давления и последующего взрыва.

Необходимо обязательно обеспечивать соблюдение требований местных стандартов.

В качестве примера можно привести следующие стандарты:

BS6759 в Великобритании, этот стандарт устанавливает требования к материалам, проектированию и конструкции предохранительных клапанов.

BS2790 в Великобритании, этот стандарт устанавливает требования к проектированию и изготовлению жаротрубных котлов сварной конструкции.

EN ISO 4126 в континентальной Европе, этот стандарт устанавливает общие требования к предохранительным клапанам.

Детальная информация о размерах и указания по монтажу приведены в материалах изготовителя.

ОСТАНОВ НА ВЫХОДНЫЕ ДНИ

Для многих паровых котлов требуется останов на выходные дни. Это означает, что выработка пара в выходные дни прекращается, и котел находится при пониженной температуре, но при этом он постоянно готов к вводу в работу. Способ такого перевода в резерв отличается у различных заказчиков, но чаще всего обеспечивается рециркуляция небольшого объема пара из котла в деаэратор для поддержания последнего в теплом состоянии. Периодически котел запускается для корректировки уровней жидкости в котле и деаэраторе, и это может приводить к проблемам, связанным с кавитацией и гидравлическим ударом: кавитация, вызванная пониженным давлением в котле, и гидравлические удары, вызванные охлаждением столба воды в насосе в остановленном состоянии в связи с отсутствием изоляции. При последующем пуске насоса через трубы поступает столб «холодной» воды, что приводит к гидроудару в системе.

ИЗМЕНЕНИЕ РАСХОДА ПАРА

Часто расход пара со временем меняется и, в некоторых случаях, выработка пара превышает номинальные параметры котла, а, следовательно, и данные, представленные в компанию Grundfos при подборе питательных насосов для котла. Это может привести к тому, что производительность насосов окажется недостаточной, что впоследствии приведет к тому, что насосы будут работать с повышенным расходом. В связи с этим требуется более высокий допускаемый кавитационный запас.

Это возможно, например, в том случае, если заказчик один раз в месяц в течение одного часа использует пар для очистки турбин на объекте. Это приводит к значительным перепадам давления в котле, и в результате в насосе в течение этого часа каждый месяц имеет место кавитация.

ДОЗИРОВАНИЕ РЕАГЕНТОВ

Обычно дозирование реагентов в воду не вызывает проблем. Однако периодически можно заметить повышение износа рабочего колеса. Это происходит, когда реагенты подаются непосредственно



перед питательными насосами. Это связано с тем, что в насосе может присутствовать очень высокая концентрация, вызванная недостаточно тщательным перемешиванием реагентов перед входов в насос.

Если используется крупный насос CR с бронзовым подшипником, важно, чтобы значение pH в котле было ниже 10, поскольку в противном случае бронза будет разрушаться. Обычно такая проблема не возникает, поскольку изготовитель котла также заинтересован в том, чтобы значение pH было на уровне приблизительно 8–9. Следует учитывать, что, если для снижения значения pH добавляется NH_3 , это также приведет к разрушению бронзы.

С помощью цифровой системы дозирования Grundfos можно избежать проблем с разрушением, поскольку при ее использовании дозирующий насос выполняет дозирование непрерывно и не допускает избыточных концентраций реагентов.

ПУСК ПИТАТЕЛЬНОГО НАСОСА

Перед пуском питательного насоса необходимо учесть следующие два момента. При оборудовании частотным преобразователем насос необходимо пускать на такой высокой скорости, при которой обеспечивается более высокое давление, чем давление в котле. Если это условие не соблюдается, условия работы будут аналогичны работе при закрытых клапанах до тех пор, пока насос не преодолеет это давление, что может привести к перегоранию уплотнения вала.

Если для времени выхода на режим задано значение 0 сек., столб воды во всасывающем патрубке насоса может разорваться с образованием вакуумных карманов.

См. раздел «Отрыв столба жидкости».

Часто задаваемые вопросы

Что нужно делать, чтобы не допустить кавитации?

Необходимо обеспечить более высокое давление на входе в насос, чем давление насыщенных паров воды. Имеющийся допустимый кавитационный запас должен быть выше требуемого кавитационного запаса. См. раздел «Подбор типоразмера насоса».

Как преобразовать давление из бар в м.в.ст?

Для преобразования необходимо знать температуру воды, поскольку ее плотность меняется при изменении температуры. В таблице параметров паров приводятся следующие данные воды при температуре 104 °С.

Плотность $\rho = 955,2 \text{ кг/м}^3$

На паспортной табличке указано максимальное давление в котле 12,5 бар, а значение должно быть в паскалях.

Ускорение свободного падения g составляет $9,81 \text{ м/с}^2$.

$$h_{Boiler} = \frac{p_{Boiler}}{\rho \cdot g} = \frac{12,5 \cdot 10^5}{955,2 \cdot 9,81} = 133,4 \text{ м.в.ст.}$$

Какие меры предосторожности необходимо принять в условиях большой высоты над уровнем моря?

Если деаэратор работает при точке кипения, особые меры предосторожности не требуются. Чем ниже давление, тем меньшее количество кислорода может растворяться в питательной воде, что, по сути, способствует процессу деаэрации. Эти меры предосторожности по предотвращению кавитации соответствуют мерам, указанным в разделе «Подбор типоразмера насоса». Температуры кипения указаны в табл. 6.

Таблица 6: Значения температуры кипения воды при атмосферном давлении на стандартной высоте над уровнем моря 101,3 кПа:

Высота, м	Температура кипения воды, °С
0	100
300	99,1
600	98,1
1000	96,8
2000	93,3
4000	87,3
6000	81,3
8000	75,5

Сертификаты

Сертификаты

Сертификат	Описание
Сертификат соответствия требованиям заказа	Согласно EN 10204, 2.1. Документ Grundfos, удостоверяющий, что поставляемый насос соответствует требованиям заказа.
Сертификат испытаний. Общие проверки и испытания	Согласно EN 10204, 2.2. Сертификат с результатами проверки и испытаний для любых типов насосов.
Сертификат приемочного контроля 3.1	Документ Grundfos, удостоверяющий, что поставляемый насос соответствует требованиям заказа. В сертификате указываются результаты проверок и испытаний.
Сертификат приемочного контроля	Документ Grundfos, удостоверяющий, что поставляемый насос соответствует требованиям заказа. В сертификате указываются результаты проверок и испытаний. Включает сертификат от контролера. Мы предлагаем следующие сертификаты приемочного контроля: Документ Grundfos, удостоверяющий, что поставляемый насос соответствует требованиям заказа. В сертификате указываются результаты проверок и испытаний. Включает сертификат от контролера. Мы предлагаем следующие сертификаты приемочного контроля: - Сертификат Таможенного союза (EAC) • Lloyds Register of Shipping (LRS) • Det Norske Veritas (DNV) • Germanischer Lloyd (GL) • Bureau Veritas (BV) • American Bureau of Shipping (ABS) • Registro Italiano Navale Agenture (RINA) • Китайское классификационное общество (CCS) • Российский морской регистр судоходства (PMCP) • Biro Klassifikasio Indonesia (BKl) • Береговая охрана США (USCG) • Nippon Kaiji Kyokai (NKK)
Протокол типовых испытаний	Удостоверяет тот факт, что основные компоненты конкретного насоса изготовлены компанией Grundfos, насос прошел испытания на QH (расход и напор), был проверен и соответствует всем требованиям соответствующих каталогов, чертежей и технических условий.
Протокол проверки соблюдения требований к материалам	Подтверждение материала, используемого для изготовления основных узлов конкретного насоса.
Протокол проверки соблюдения требований к материалам с приложением сертификата от поставщика сырья	Подтверждение материала, используемого для изготовления основных узлов конкретного насоса. Сертификат на материалы, EN 10204, 3.1, предоставляется для каждого основного узла.
Протокол проверки рабочей точки	Удостоверяет указанную заказчиком рабочую точку. Выдается согласно ISO 9906, раздел «Подтверждение рабочей точки».
Шероховатость поверхности	Содержит результаты измерения шероховатости литого основания конкретного насоса. В протоколе указываются значения, измеренные на входе и выходе основания согласно ISO 1302.
Протокол испытаний на воздействие вибраций	Протокол испытаний на воздействие вибраций с указанием значений, измеренных при эксплуатационных испытаниях конкретного насоса по ISO 10816.
Протокол испытаний электродвигателя	Содержит данные эксплуатационных испытаний конкретного электродвигателя, включая выходную мощность, ток, температуру, сопротивление обмоток статора и испытание изоляции.
Очистка и сушка насоса	Подтверждает, что конкретный насос прошел очистку и сушку и указывает метод выполнения этих процедур.
Электрополировка насоса	Подтверждает, что конкретный насос прошел электрополировку. В протоколе указывается максимальная шероховатость поверхности.
Разрешение для применения во взрывоопасных средах	Подтверждает, что конкретный насос разрешен для применения во взрывоопасных средах в соответствии с директивой ЕС 94/9/ЕС, «Директива АTEX».

Давление паров P и плотность ρ воды при различных температурах											
t [°C]	T [K]	P [бар]	ρ [кг/м³]	t [°C]	T [K]	P [бар]	ρ [кг/м³]	t [°C]	T [K]	P [бар]	ρ [кг/м³]
0	273,15	0,00611	0999,8	61	334,15	0,2086	982,6	138	411,15	3,414	927,6
1	274,15	0,00657	0999,9	62	335,15	0,2184	982,1	140	413,15	3,614	925,8
2	275,15	0,00706	0999,9	63	336,15	0,2286	981,6	145	418,15	4,155	921,4
3	276,15	0,00758	0999,9	64	337,15	0,2391	981,1	150	423,15	4,760	916,8
4	277,15	0,00813	1000,0	65	338,15	0,2501	980,5	155	428,15	5,433	912,1
5	278,15	0,00872	1000,0	66	339,15	0,2615	979,9	160	433,15	6,181	907,3
6	279,15	0,00935	1000,0	67	340,15	0,2733	979,3	165	438,15	7,008	902,4
7	280,15	0,01001	999,9	68	341,15	0,2856	978,8	170	443,15	7,920	897,3
8	281,15	0,01072	999,9	69	342,15	0,2984	978,2	175	448,15	8,924	892,1
9	282,15	0,01147	999,8	70	343,15	0,3116	977,7				
10	283,15	0,01227	999,7					180	453,15	10,027	886,9
				71	344,15	0,3253	977,0	185	458,15	11,233	881,5
11	284,15	0,01312	999,7	72	345,15	0,3396	976,5	190	463,15	12,551	876,0
12	285,15	0,01401	999,6	73	346,15	0,3543	976,0	195	468,15	13,987	870,4
13	286,15	0,01497	999,4	74	347,15	0,3696	975,3	200	473,15	15,50	864,7
14	287,15	0,01597	999,3	75	348,15	0,3855	974,8				
15	288,15	0,01704	999,2	76	349,15	0,4019	974,1	205	478,15	17,243	858,8
16	289,15	0,01817	999,0	77	350,15	0,4189	973,5	210	483,15	19,077	852,8
17	290,15	0,01936	998,8	78	351,15	0,4365	972,9	215	488,15	21,060	846,7
18	291,15	0,02062	998,7	79	352,15	0,4547	972,3	220	493,15	23,198	840,3
19	292,15	0,02196	998,5	80	353,15	0,4736	971,6	225	498,15	25,501	833,9
20	293,15	0,02337	998,3	81	354,15	0,4931	971,0	230	503,15	27,976	827,3
21	294,15	0,02485	998,1	82	355,15	0,5133	970,4	235	508,15	30,632	820,5
22	295,15	0,02642	997,8	83	356,15	0,5342	969,7	240	513,15	33,478	813,6
23	296,15	0,02808	997,6	84	357,15	0,5557	969,1	245	518,15	36,523	806,5
24	297,15	0,02982	997,4	85	358,15	0,5780	968,4	250	523,15	39,776	799,2
25	298,15	0,03166	997,1	86	359,15	0,6011	967,8	255	528,15	43,246	791,6
26	299,15	0,03360	996,8	87	360,15	0,6249	967,1				
27	300,15	0,03564	996,6	88	361,15	0,6495	966,5	260	533,15	46,943	783,9
28	301,15	0,03778	996,3	89	362,15	0,6749	965,8	265	538,15	50,877	775,9
29	302,15	0,04004	996,0	90	363,15	0,7011	965,2	270	543,15	55,058	767,8
30	303,15	0,04241	995,7					275	548,15	59,496	759,3
				91	364,15	0,7281	964,4	280	553,15	64,202	750,5
31	304,15	0,04491	995,4	92	365,15	0,7561	963,8				
32	305,15	0,04753	995,1	93	366,15	0,7849	963,0	285	558,15	69,186	741,5
33	306,15	0,05029	994,7	94	367,15	0,8146	962,4	290	563,15	74,461	732,1
34	307,15	0,05318	994,4	95	368,15	0,8453	961,6	295	568,15	80,037	722,3
35	308,15	0,05622	994,0	96	369,15	0,8769	961,0	300	573,15	85,927	712,2
36	309,15	0,05940	993,7	97	370,15	0,9094	960,2	305	578,15	92,144	701,7
37	310,15	0,06274	993,3	98	371,15	0,9430	959,6	310	583,15	98,700	690,6
38	311,15	0,06624	993,0	99	372,15	0,9776	958,6				
39	312,15	0,06991	992,7	100	373,15	1,0133	958,1	315	588,15	105,61	679,1
40	313,15	0,07375	992,3					320	593,15	112,89	666,9
				102	375,15	1,0878	956,7	325	598,15	120,56	654,1
41	314,15	0,07777	991,9	104	377,15	1,1668	955,2	330	603,15	128,63	640,4
42	315,15	0,08198	991,5	106	379,15	1,2504	953,7	340	613,15	146,05	610,2
43	316,15	0,08639	991,1	108	381,15	1,3390	952,2				
44	317,15	0,09100	990,7	110	383,15	1,4327	950,7	350	623,15	165,35	574,3
45	318,15	0,09582	990,2					360	633,15	186,75	527,5
46	319,15	0,10086	989,8	112	385,15	1,5316	949,1				
47	320,15	0,10612	989,4	114	387,15	1,6362	947,6	370	643,15	210,54	451,8
48	321,15	0,11162	988,9	116	389,15	1,7465	946,0	374,15	647,30	221,2	315,4
49	322,15	0,11736	988,4	118	391,15	1,8628	944,5				
50	323,15	0,12335	988,0	120	393,15	1,9854	942,9				
51	324,15	0,12961	987,6	122	395,15	2,1145	941,2				
52	325,15	0,13613	987,1	124	397,15	2,2504	939,6				
53	326,15	0,14293	986,6	126	399,15	2,3933	937,9				
54	327,15	0,15002	986,2	128	401,15	2,5435	936,2				
55	328,15	0,15741	985,7	130	403,15	2,7013	934,6				
56	329,15	0,16511	985,2								
57	330,15	0,17313	984,6	132	405,15	2,8670	932,8				
58	331,15	0,18147	984,2	134	407,15	3,041	931,1				
59	332,15	0,19016	983,7	136	409,15	3,223	929,4				
60	333,15	0,19920	983,2								



