

Насосная Азбука



Введение	5
История насосной техники	7
Водоснабжение	7
Отведение сточных вод	8
Отопление	9
Напорные системы	12
Открытая система водоснабжения	12
Замкнутая система отопления	13
Вода как средство транспортировки	15
Удельная теплоемкость	15
Увеличение и уменьшение объема	16
Характеристики кипения воды	17
Расширение воды при нагревании и защита от избыточного давления	18
Давление	19
Кавитация	19
Конструкции центробежных насосов	21
Самовсасывающие и нормальновсасывающие насосы	21
Работа центробежных насосов	22
Рабочие колеса	22
КПД насоса	23
Потребление энергии центробежными насосами	24
Насосы с мокрым ротором	25
Насосы с сухим ротором	27
Центробежные насосы высокого давления	29
Характеристики	31
Характеристики насосов	31
Характеристика системы	32
Рабочая точка	33
Регулирование параметров насоса в зависимости от отопительной нагрузки	35
Сезонные изменения температуры	35
Переключение частоты вращения насоса	36
Бесступенчатое регулирование частоты вращения	36
Способы регулирования	37

Примерный расчет параметров насоса для стандартных систем отопления	41
Подача насоса	41
Напор насоса	41
Пример	42
Результаты примерных расчетов параметров насоса	43
Программа подбора насосного оборудования	43
Гидравлические системы от "А" до "Я"	45
Регулирование циркуляционных насосов с электронным управлением	45
Системы с несколькими насосами	46
Заключение	50
Проверьте ваши знания	51
История насосной техники	51
Вода как средство транспортировки	52
Конструкции центробежных насосов	53
Характеристики насосов и систем	54
Регулирование параметров насоса в зависимости от отопительной нагрузки	55
Примерный расчет параметров насоса	56
Системы с несколькими насосами	57
Единицы измерения (только для центробежных насосов)	58

Введение

Современная жизнь немыслима без насосов. Эффективно и безопасно для окружающей среды насосы перемещают любые жидкости — горячие и холодные, чистые и с загрязнениями — обеспечивая комфортные условия жизни каждому человеку.

В системах жизнеобеспечения зданий используется множество насосов. Они выполняют самые разнообразные функции. Наиболее известный из них — циркуляционный насос для систем отопления. Поэтому именно он будет предметом нашего обсуждения на ближайших страницах.

Помимо циркуляционных насосов в системах разного назначения используются:

- насосные установки для повышения давления, необходимые для подачи воды в здание при недостаточном давлении в системе городского водоснабжения;
- насосы для систем ГВС, обеспечивающие подачу горячей воды в любое время в любой кран;
- насосы для отвода и дренажа сточных и грязных вод;
- насосы для фонтанов и аквариумов;
- насосы для противопожарного применения;
- насосы для холодной воды и систем охлаждения;
- насосные установки, использующие дождевую воду для туалетов, стиральных машин, уборки или полива;
- многие другие.

При выборе насосов следует учитывать, что различные жидкости имеют разные вязкости (например, неочищенные сточные воды или водно-гликолевые смеси). Кроме того, необходимо выполнять требования региональных стандартов и нормативов, определяющие выбор того или иного насоса и технологии (например, взрывозащита, стандарт питьевой воды).



Целью настоящей брошюры является объяснение основ выбора и работы насосов лицам, проходящим профессиональную подготовку или переподготовку. Использование простых, понятных описаний, иллюстраций и примеров позволяет заложить достаточную базу знаний для применения на практике. Благодаря полученной информации правильный выбор и эксплуатация насосов становятся обычным делом.

В разделе **Проверьте Ваши знания** можно проверить свои знания материала, выбрав из предложенных вариантов правильные ответы на вопросы.

История насосной техники

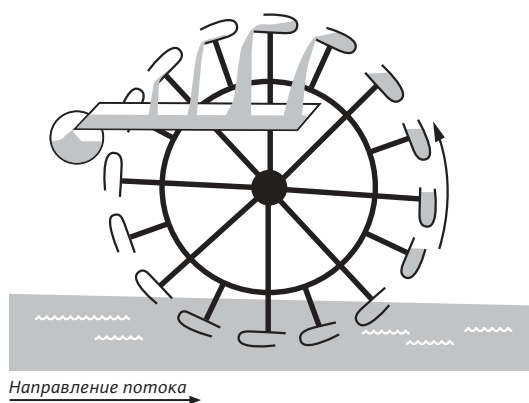
Водоснабжение

С незапамятных времен люди искали способы подъема жидкостей, особенно воды, на высоту. Это было необходимо для полива полей и наполнения фортификационных рвов, окружавших города и замки.

Простейший инструмент для забора воды — рука человека, причем две руки лучше, чем одна!

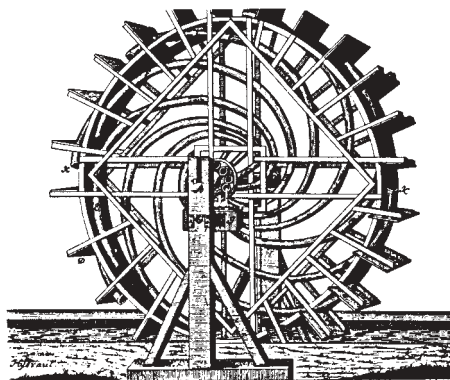
Поэтому наши изобретательные предки быстро догадались прикрепить глиняные сосуды к устройству для забора воды. Это был первый шаг к изобретению ковша. Несколько таких ковшей были прикреплены к цепи или колесу. Для вращения такого устройства и подъема воды использовалась мускульная сила людей или животных. При археологических раскопках такие ковшовые конвейеры, сделанные примерно в 1000 г. до н. э., были найдены в Египте и Китае. Приведенная ниже иллюстрация показывает реконструированную модель китайского водочерпательного колеса. Это колесо оборудовано прикрепленными глиняными горшками, из которых при достижении верхней точки выливается ранее набранная внизу вода.

Китайское водочерпательное колесо



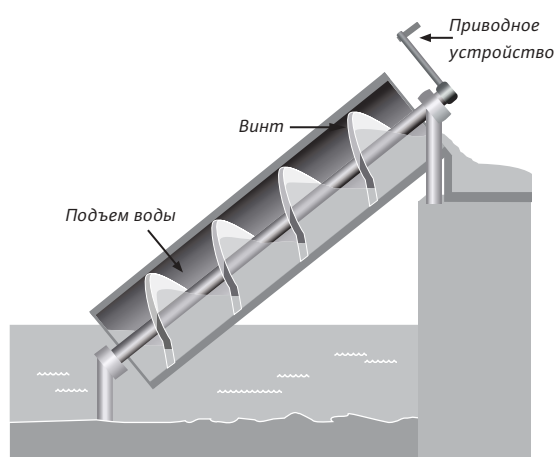
Оригинальное усовершенствование данного устройства было сделано в 1724 г. Джакобом Леопольдом (1674–1727), который присоединил к колесу изогнутые трубы. При повороте колеса вода двигалась к его оси. Течение воды в реке, в свою очередь, служило приводом для этой подъемной установки. Особого внимания в этой конструкции заслуживала форма труб. Она поразительно напоминала форму лопастей современных центробежных насосов.

Водяное колесо Джакоба Леопольда



Архимед (287–212 гг. до н. э.), великий ученый древности, изобрел винтовое водоподъемное устройство, позже названное в его честь. Это устройство поднимало воду с помощью вращающегося внутри трубы винта, но некоторое количество воды всегда стекало обратно, т. к. в те времена эффективные уплотнения были неизвестны. В результате, была выведена зависимость между наклоном винта и подачей. При работе можно было выбрать между большим объемом поднимаемой воды или большей высотой подъема. Чем больше наклон винта, тем больше высота подачи при уменьшении производительности.

Архимедов винт



При этом принцип работы механизма был очень похож на тот, по которому работают современные центробежные насосы. Характеристика насоса имеет аналогичную зависимость между напором и подачей. Из исторических источников мы знаем, что такие винтовые насосы работали при углах наклона от 37° до 45° . Они обеспечивали подъем воды на высоту от 2 до 6 м и имели максимальную подачу около $10 \text{ м}^3/\text{ч}$.

См. главу "Рабочие колеса", с. 22

Отведение сточных вод

Хотя водоснабжение всегда было особенно важно в жизни человека, эффективные системы отведения сточных вод появились очень поздно — слишком поздно, если сказать точнее.

Везде, в деревнях, поселках и городах, экскременты, грязь и канализационные отходы загрязняли улицы, проходы и другие открытые пространства.

Помимо ужасного запаха, это вызывало вспышки болезней и эпидемий. Водоемы загрязнялись, а подземные воды становились непригодными для питья.

Первая канализация была построена где-то между 3000 и 2000 г. до н. э. Под Дворцом Минос в Кноссе (Крит) были обнаружены кирпичные каналы и терракотовые трубы, служившие для сбора и отвода дождевой воды, воды из ванн и туалетов. Римляне строили канализации на и под улицами — самая большая и наиболее известная из них — городская "Клоака Максима", части которой поразительным образом сохранились до наших дней. Вода из нее поступала в реку Тибр (в городе Кельн в Германии до сих пор сохранилось несколько подземных туннелей, выполнявших роль канализации во времена римлян).

Поскольку за прошедшие с тех пор тысячи лет особого прогресса в этой области не было достигнуто, неочищенные сточные воды сбрасывались в реки, каналы, озера и моря вплоть до девятнадцатого века. Индустриализация и рост городов привели к необходимости срочного решения проблемы эффективного отведения сточных вод.

Первая в Германии система отведения канализационных и сточных вод была построена в Гамбурге в 1856 г.

Но еще в 90-е годы многие бытовые канализации Германии представляли собой септические ямы и дренажные канавы. Позднее появились законодательные акты и региональные требования о необходимости подведения таких систем к общественной канализационной сети.

Сегодня канализационные системы почти всех домов соединены напрямую с городской канализацией. Там, где это невозможно, используются установки для водоотведения и напорные системы водоотведения.

Промышленные и бытовые сточные воды отводятся через длинные канализационные системы, отстойники, очистные сооружения и водоосветлительные резервуары, проходя биологическую или химическую очистку. После обработки вода возвращается в естественные водоемы.



При отведении сточных вод используются самые различные насосы и насосные системы. Вот несколько примеров:

- установки для водоотведения;
- погружные насосы;
- шахтные насосы (с устройствами для измельчения);
- дренажные насосы;
- мешалки, и др.



Отопление

Системы отопления "гипокауст"

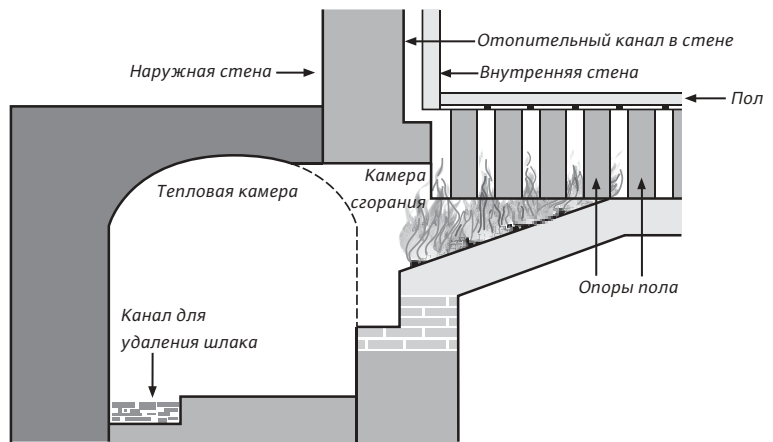
В Германии были найдены такие реликты, как системы отопления "гипокауст" древних римлян. Они представляли собой раннюю форму систем подогрева пола. Дым и горячий воздух от открытого огня поступали по каналам через специальные камеры под пол, таким образом, осуществляя его подогрев. Затем газы выводились наружу по каналам в стенах.

В последующие века в замках и крепостях дымоходы над открытыми очагами проводились не строго вертикально вверх. Горячие топочные газы проходили по виткам дымоходов вдоль всех жилых помещений — это была одна из первых форм центрального отопления. Еще одним изобретением было разделение системы за счет устройства в погребах тепловых камер из камня. Огонь нагревал воздух, который затем направлялся прямо в жилые помещения.

Паровая система отопления

Паровая система отопления была побочным продуктом парового двигателя, широко использовавшегося во второй половине восемнадцатого века. Остаточный пар, не превратившийся в конденсат в паровом двигателе, направлялся в помещения и жилые комнаты через теплообменники. Тогда же появилась идея использовать остаточную энергию паровой системы отопления для приведения в действие турбины.

Система отопления "гипокауст" времен Римской Империи



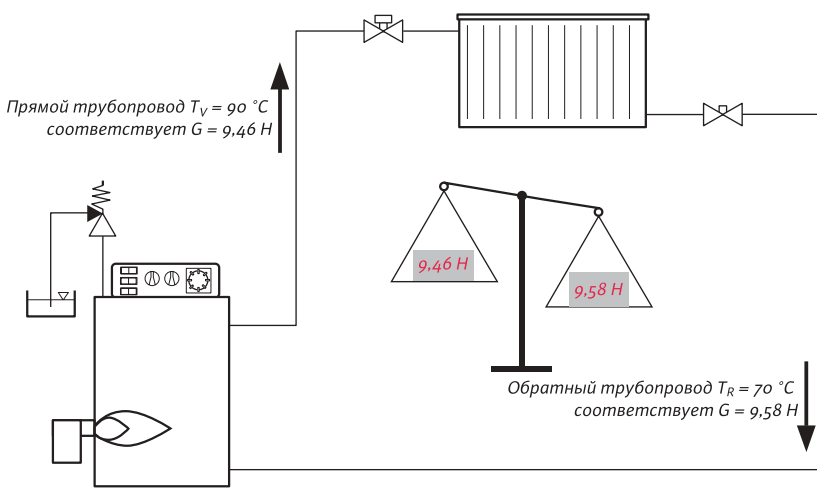
Конвективная система отопления

Следующим этапом эволюции стали конвективные системы отопления. Опыт показывал, что для обеспечения комнатной температуры $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ достаточно нагреть воду всего до $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, что ниже ее точки кипения. Горячая вода поднималась вверх по трубам большого диаметра. После отдачи части тепла (охлаждения), вода возвращалась обратно в котел под действием силы тяжести.



Конвективная система отопления с котлом, расширительным баком и радиаторами

Схема конвективной системы отопления



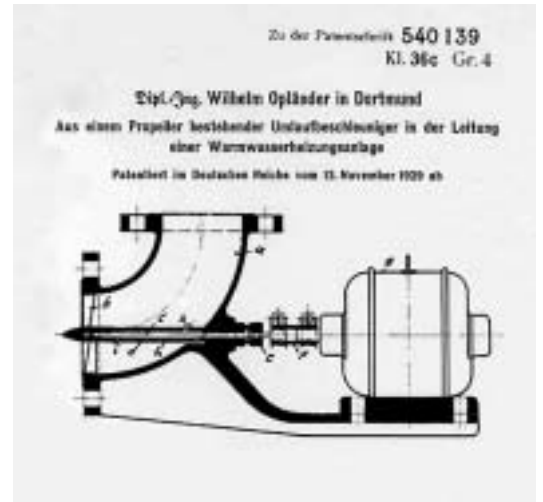
Движение воды вверх, а затем вниз осуществляется за счет разности плотностей теплой и остывшей воды.

В начале двадцатого века для того, чтобы ускорить прогрев таких систем отопления, создали так называемые "ускорители циркуляции" с установкой их в трубопроводы систем отопления.

Электродвигатели тех времен не могли использоваться в качестве приводов, поскольку они имели роторы с открытыми токосъемниками. Это могло привести к возникновению крупных аварий в системах, работавших на воде.

Первый циркуляционный насос

Так было, пока швабский инженер Готтлоб Баукнехт не изобрел закрытый или "закапсулированный" электродвигатель, после чего стало возможным использовать его в ускорителе циркуляции. Его друг, вестфальский инженер Вильгельм Оплендер, разработал конструкцию такого ускорителя и получил на нее патент в 1929 г.



Колесо насоса в форме пропеллера было установлено в изгибе трубы. Оно приводилось в движение уплотняемым валом, который, в свою очередь, вращался двигателем.

Однако, тогда еще никто не использовал термин насос для такого ускорителя. Только позже этот термин начали применять в таком контексте. Связано это с тем, что, как мы уже убедились, насосы ассоциировались с подъемом воды.

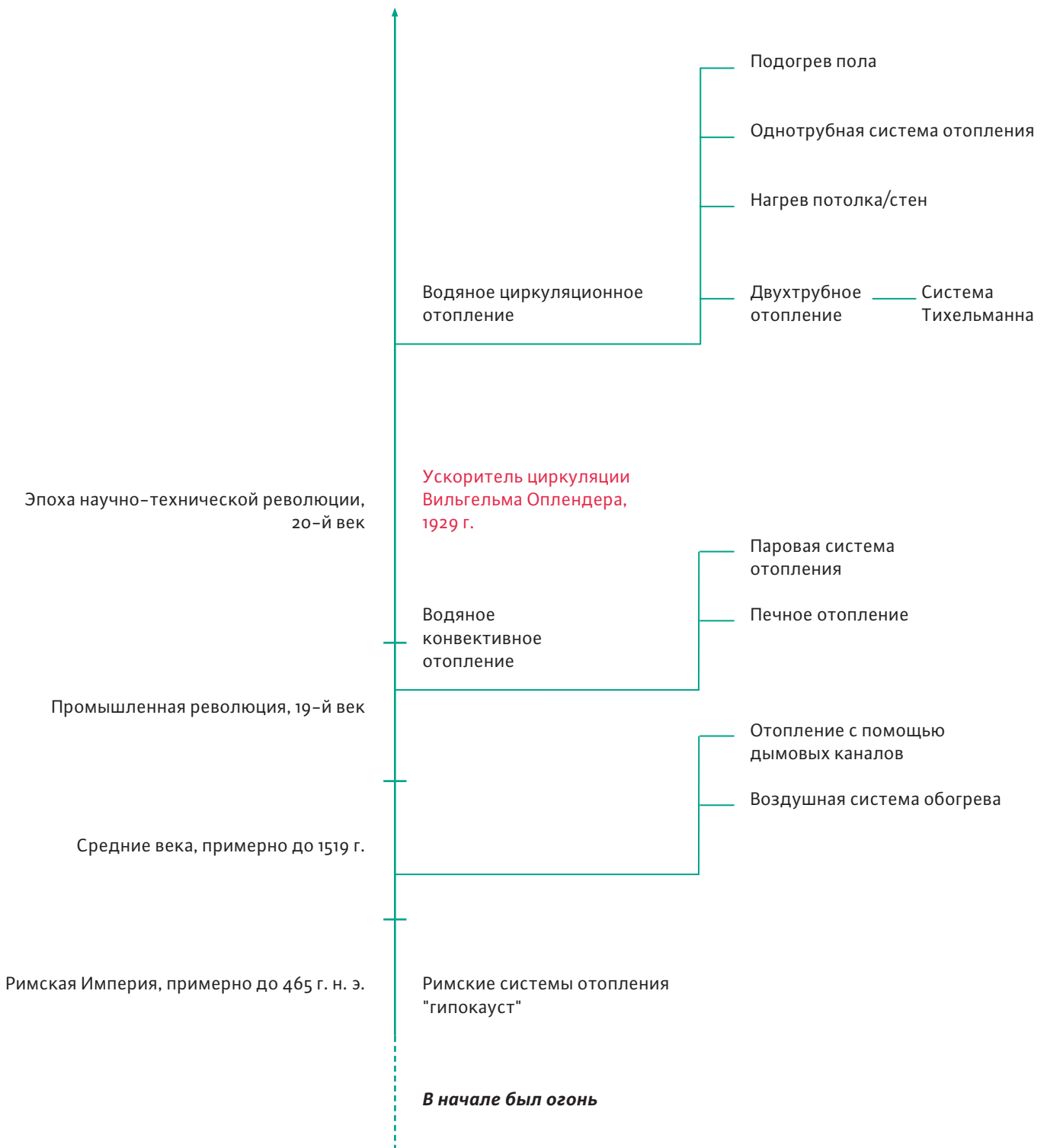
Такие ускорители циркуляции выпускались примерно до 1955 г., и их использование позволило снизить температуру нагрева воды для отопления.

Сегодня применяются самые разные системы отопления, наиболее современные из которых работают даже при еще более низких температурах воды. Без сердца системы отопления — циркуляционного насоса — применение отопительных систем такого типа невозможно.



Первый циркуляционный насос, модель 1929 г., тип HP DN 67/0,25 кВт

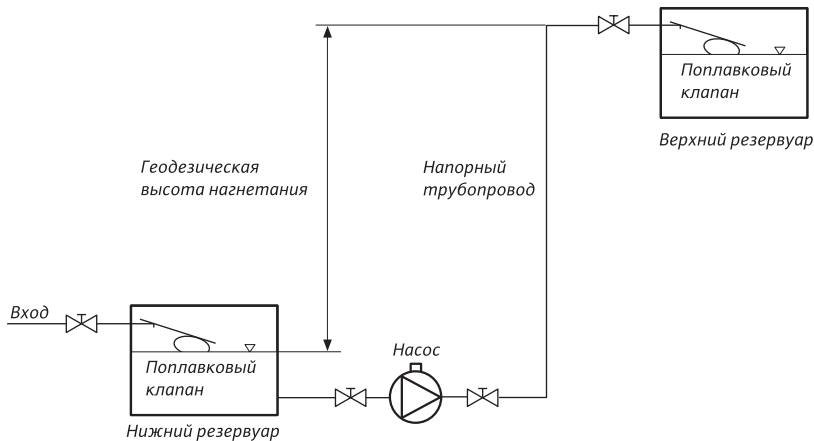
Эволюция системы отопления



Напорные системы

Открытая система водоснабжения

Открытая система водоснабжения



Насосная система для подачи воды на высоту

См. главу "Регулирование параметров насоса в зависимости от отопительной нагрузки" на с. 35

Рисунок слева показывает элементы насосной системы, подающей жидкость из нижнего резервуара в резервуар, расположенный выше, т. е. насос перемещает воду из нижнего резервуара на требуемую высоту.

Здесь недостаточно просто рассчитать производительность насоса для геодезической высоты нагнетания, потому что в последнем кране, например, в душе на самом верхнем этаже гостиницы, все равно должен быть обеспечен достаточный напор воды. Потери на трение о стенки трубопровода в напорном трубопроводе также должны быть учтены.

Напор насоса = геодезическая высота нагнетания + динамическое давление + потери в трубопроводе

Отдельные участки трубопровода должны перекрываться с помощью запорной арматуры для осуществления необходимого ремонта. Это особенно актуально для насосов, поскольку в противном случае придется сливать большое количество воды из напорных трубопроводов перед заменой или ремонтом насоса.

Кроме того, на нижнем и верхнем резервуарах должны быть установлены поплавковые клапаны или другие органы управления во избежание перелива.

В дополнение, в определенном месте напорного трубопровода можно установить реле давления, которое будет выключать насос после закрытия всех кранов, когда вода не расходует.

Замкнутая система отопления

На рисунке справа схематически показана система отопления.

Система отопления является замкнутой системой.

Чтобы было проще понять принцип работы такой системы, представьте, что вся вода в ней просто перемещается или циркулирует по замкнутому трубопроводу.

Систему отопления можно разделить на следующие элементы:

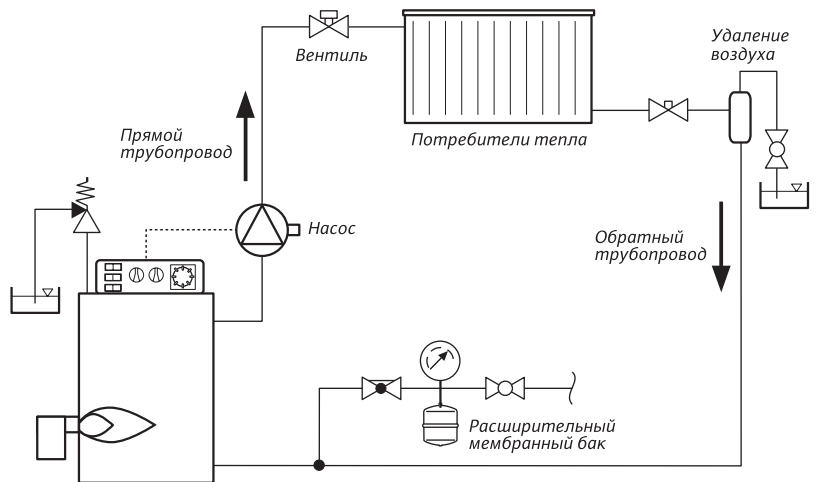
- тепловой генератор;
- система теплопередачи и теплораспределения;
- расширительный мембранный бак;
- потребители тепла;
- контрольно-измерительная аппаратура;
- предохранительный клапан.

В нашем случае тепловые генераторы представляют собой котлы, работающие на газе, мазуте или твердом топливе, а также проточные водонагреватели. К ним также относятся электрические накопительные водонагреватели с центральным нагревом воды, станции централизованного теплоснабжения и тепловые насосы.

Система теплопередачи и теплораспределения включает трубопроводы, распределительные и накопительные станции и, конечно, циркуляционный насос. Напор насоса системы отопления следует рассчитывать только по общему сопротивлению системы. Высота здания в рассмотрение не берется, поскольку вода, которую насос нагнетает в прямой трубопровод, возвращается к нему из обратного трубопровода.

Расширительный мембранный бак обеспечивает компенсацию меняющегося в зависимости от рабочей температуры объема воды в системе отопления, одновременно поддерживая постоянное давление.

Замкнутая система отопления



Потребители тепла — это поверхности нагрева, расположенные в обогреваемых помещениях (радиаторы, конвекторы, отопительные панели и т. д.). Тепловая энергия перетекает из точек с более высокой температурой в точки с более низкой температурой — и чем выше разность температур, тем интенсивнее тепловой поток. Эта теплопередача осуществляется посредством трех разных физических процессов:

- теплопроводности;
- конвекции;
- излучения.

В наши дни ни одну техническую задачу невозможно решить без хорошей системы управления. Таким образом, совершенно естественно, что блоки управления входят в состав каждой системы отопления. Наиболее простыми из них являются термостатические радиаторные клапаны, помогающие поддерживать постоянную комнатную температуру. Современные тепловые котлы, смесители и, конечно, насосы оснащаются современными механическими, электрическими и электронными устройствами управления.

Циркуляционная система на примере системы отопления

Примечание:
Высота здания при расчете напора насоса не учитывается, поскольку вода, которую насос нагнетает в прямой трубопровод, возвращается к нему из обратного трубопровода.

См. главу "Примерный расчет параметров насоса для стандартных систем отопления" на с. 41

Вода как средство транспортировки

В системах водяного отопления вода используется для передачи тепла от его генератора к потребителю.

Наиболее важными свойствами воды являются:

- теплоемкость;
- изменение объема при нагреве и при охлаждении;
- характеристики кипения при изменении внешнего давления;
- кавитация.

Рассмотрим данные физические свойства воды.



Удельная теплоемкость

Важным свойством любого теплоносителя является его теплоемкость. Если выразить ее через массу и разность температур теплоносителя, то получится удельная теплоемкость.

Она обозначается буквой c и имеет размерность $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

Удельная теплоемкость — это количество тепла, которое необходимо передать 1 кг вещества (например, воды), чтобы нагреть его на 1°C . И наоборот, вещество отдает такое же количество энергии при охлаждении.

Среднее значение удельной теплоемкости воды в диапазоне между 0°C и 100°C составляет:

$$c = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \text{ или } c = 1,16 \text{ Втч}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

Количество поглощаемого или выделяемого тепла Q , выраженное в Дж или кДж, зависит от массы m , выраженной в кг, удельной теплоемкости c и разности температур $\Delta\vartheta$, выраженной в К.

В системах отопления $\Delta\vartheta$ — это разность температур в прямом и обратном трубопроводе. Полученная формула:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$

$$m = V \cdot \rho$$

$$V = \text{Объем воды в м}^3$$

$$\rho = \text{Плотность в кг/м}^3$$

Масса m — это объем воды V , выраженный в м^3 , умноженный на плотность ρ воды, выраженную в кг/м^3 . Таким образом, формулу можно представить в следующем виде:

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot (\vartheta_v - \vartheta_n)$$

Известно, что плотность воды меняется в зависимости от ее температуры. Однако, чтобы упростить расчеты, используется $\rho = 1 \text{ кг/дм}^3$ в диапазоне от 4°C до 90°C .

Физические термины "энергия", "работа" и "количество тепла" эквивалентны.

Следующая формула используется для преобразования джоулей в другие размерности:

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Нм} = 1 \text{ Втс} \text{ или } 1 \text{ МДж} = 0,278 \text{ кВтч}$$

Примечание:

Удельная теплоемкость — это количество тепла, которое необходимо передать 1 кг вещества (например воды), чтобы нагреть его на 1°C . И наоборот, вещество отдает такое же количество энергии при охлаждении.

$$\vartheta = \text{темпа}$$

$$\rho = \text{ро}$$

Увеличение и уменьшение объема

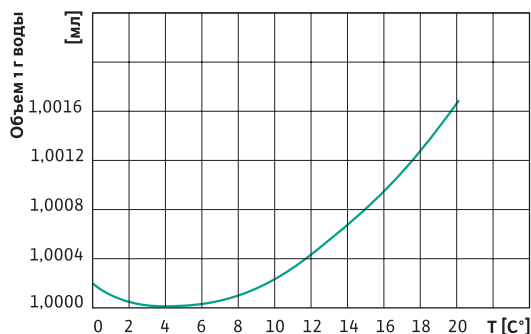
Все природные материалы расширяются при нагревании и сжимаются при охлаждении. Единственным исключением из этого правила является вода. Это уникальное ее свойство называется аномалией воды.

Вода имеет наибольшую плотность при +4 °С, при которой 1 дм³ = 1 л имеет массу 1 кг.

Вода также расширяется при ее охлаждении ниже +4 °С. Благодаря этой аномалии воды у рек и озер зимой замерзает именно верхний слой. По той же причине лед плавает на поверхности и весеннее солнце может его растопить. Этого бы не происходило, если бы лед был тяжелее воды и опускался на дно.

Однако, такое свойство расширяться может быть опасным. Например, автомобильные двигатели и водяные насосы могут лопнуть, если вода в них замерзнет. Во избежание этого в воду добавляются присадки, препятствующие ее замерзанию. В системах отопления часто используются гликоли; соотношение воды и гликоля см. в спецификации производителя.

Изменение объема воды



Изменение объема воды при нагреве/охлаждении. Самая большая плотность при 4 °С: $\rho_{max} = 1000 \text{ кг/м}^3$

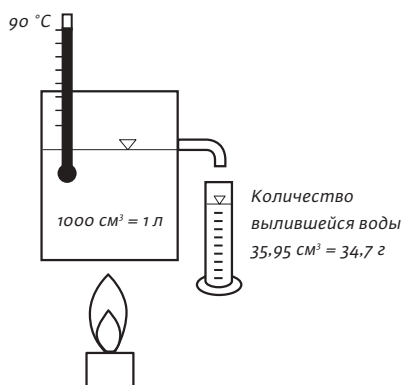
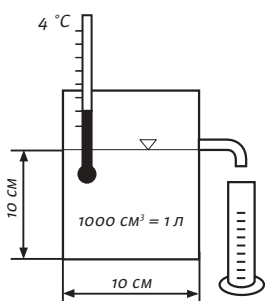
Если вода нагревается или охлаждается относительно этой точки, ее объем увеличивается, что означает уменьшение плотности, т. е. вода становится легче.

Это можно отчетливо наблюдать на примере резервуара с точкой перелива.

В резервуаре находится ровно 1000 см³ воды с температурой +4 °С. При нагревании воды некоторое количество выльется из резервуара в мерную емкость. Если нагреть воду до 90 °С, в мерную емкость выльется ровно 35,95 см³, что соответствует 34,7 г.

Водяной куб объемом 1000 см³ при 4 °С имеет массу 1000 г

Масса 1000 см³ воды при 90 °С = 965,3 г



Когда вода нагревается или охлаждается, ее плотность уменьшается, т. е. вода становится легче, а ее объем увеличивается.

Характеристики кипения воды

Если воду нагревать в открытой емкости, она закипит при температуре 100 °С. Если измерять температуру кипящей воды, окажется, что она остается равной 100 °С пока не испарится последняя капля. Таким образом, постоянное потребление тепла используется для полного испарения воды, т. е. изменения ее агрегатного состояния. Эта энергия также называется латентной (скрытой) теплотой. Если подача тепла продолжается, температура образовавшегося пара снова начнет подниматься.

Описанный процесс приведен при давлении воздуха 101,3 кПа у поверхности воды. При любом другом давлении воздуха точка кипения воды сдвигается от 100 °С.

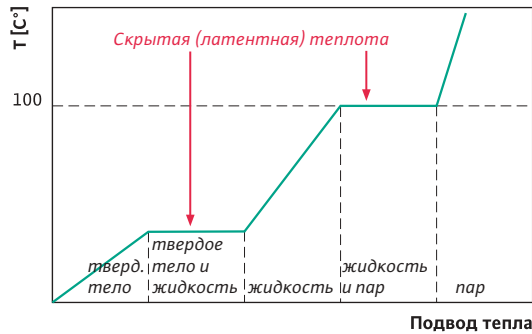
Если бы мы повторили описанный эксперимент на высоте 3000 м — например, на Цугшпитце, самой высокой вершине Германии — мы бы обнаружили, что вода там закипает уже при 90 °С. Причиной такого поведения является понижение атмосферного давления с высотой.

Чем ниже давление на поверхности воды, тем ниже будет температура кипения. И наоборот, температура кипения будет выше при повышении давления на поверхности воды. Это свойство используется, например, в скороварках.

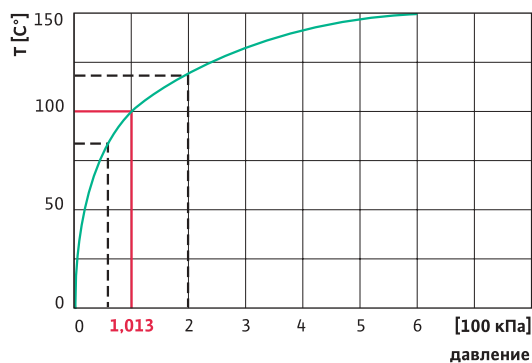
График справа показывает зависимость температуры кипения воды от давления.

Давление в системах отопления намеренно повышается. Это помогает предотвратить образование пузырьков газа в критических рабочих режимах, а также предотвращает попадание наружного воздуха в систему.

Изменение агрегатного состояния при повышении температуры



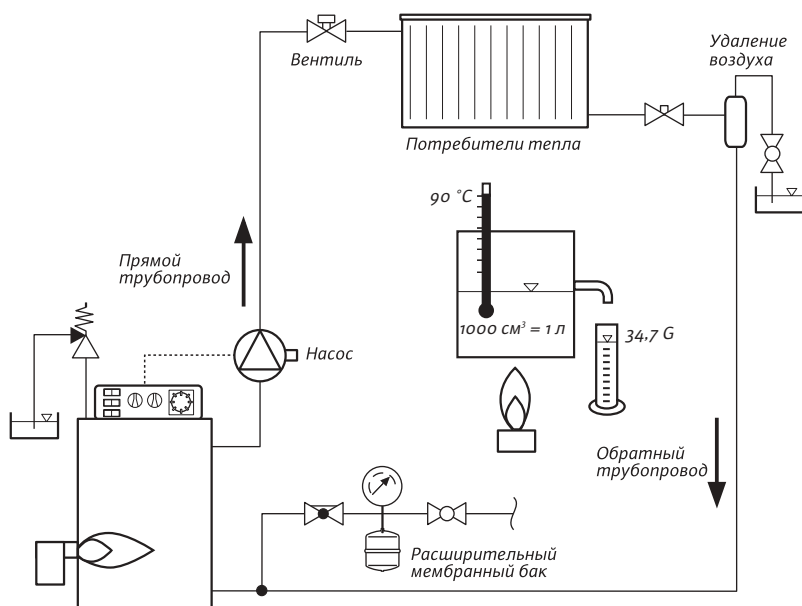
Температура кипения воды как функция давления



Расширение воды при нагревании и защита от избыточного давления

Системы водяного отопления работают при температурах воды до 90 °С. Обычно система заполняется водой при температуре 15 °С, которая затем расширяется при нагревании. Нельзя допустить, чтобы это увеличение объема привело к возникновению избыточного давления и переливу жидкости.

Система отопления со встроенным предохранительным клапаном



Когда отопление отключается в летний период, объем воды возвращается к первоначальному значению. Таким образом, для обеспечения беспрепятственного расширения воды необходимо установить достаточно большой бак. Старые системы отопления имели открытые расширительные баки. Они всегда располагались выше самого высокого участка трубопровода. При повышении температуры в системе, что приводило к расширению воды, уровень в баке также повышался. При снижении температуры он, соответственно, понижался.

Современные системы отопления используют мембранные расширительные баки (МРБ).

При повышении давления в системе нельзя допускать увеличения давления в трубопроводах и других элементах системы выше предельного значения. Поэтому обязательным условием для каждой системы отопления является наличие предохранительного клапана.

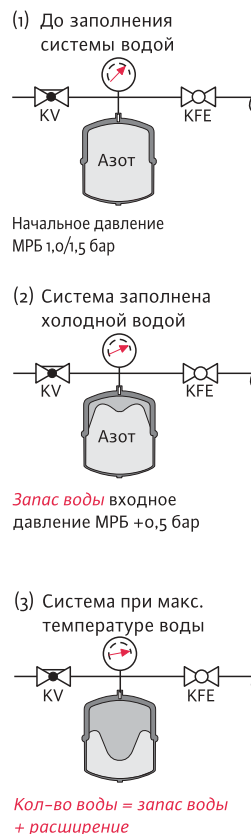
При повышении давления сверх нормы предохранительный клапан должен открываться и стравливать лишний объем воды, который не может вместить расширительный бак. Тем не менее, в тщательно спроектированной и обслуживаемой системе такое критическое состояние никогда не должно возникать.

Все эти рассуждения не учитывают тот факт, что циркуляционный насос еще больше увеличивает давление в системе.

Взаимосвязь между максимальной температурой воды, выбранным насосом, размером расширительного бака и давлением срабатывания предохранительного клапана должна быть установлена самым тщательным образом. Случайный выбор элементов системы — даже на основании их стоимости — в данном случае неприемлем.

Мембранный расширительный бак поставляется заполненным азотом. Начальное давление в расширительном мембранном баке должно быть отрегулировано в зависимости от системы отопления. Расширяющаяся вода из системы отопления поступает в бак и сжимает газовую камеру через диафрагму. Газы могут сжиматься, а жидкости — нет.

Компенсация изменения объема воды в системе отопления:



Примечание:
При возникновении избыточного давления предохранительный клапан должен открываться и стравливать лишний объем воды.

Давление

Определение давления

Давление — это статическое давление жидкостей и газов, измеренное в сосудах, трубопроводах относительно атмосферного давления (Па, мбар, бар).

Статическое давление

Статическое давление — это давление неподвижной жидкости. Статическое давление = уровень выше соответствующей точки измерения + начальное давление в расширительном баке.

Динамическое давление

Динамическое давление — это давление движущегося потока жидкости.

Давление нагнетания насоса

Это давление на выходе центробежного насоса во время его работы.

Перепад давления

Давление, развиваемое центробежным насосом для преодоления общего сопротивления системы. Оно измеряется между входом и выходом центробежного насоса.

Рабочее давление

Давление, имеющееся в системе при работе насоса.

Допустимое рабочее давление

Максимальное значение рабочего давления, допускаемого из условий безопасности работы насоса и системы.

Кавитация

Кавитация — это образование пузырьков газа в результате появления локального давления ниже давления парообразования перекачиваемой жидкости на входе рабочего колеса. Это приводит к снижению производительности (напора) и КПД и вызывает шумы и разрушение материала внутренних деталей насоса.

Из-за схлопывания пузырьков воздуха в областях с более высоким давлением (например, на выходе рабочего колеса) микроскопические взрывы вызывают скачки давления, которые могут повредить или разрушить гидравлическую систему. Первым признаком этого служит шум в рабочем колесе и его эрозия.

Важным параметром центробежного насоса является NPSH (высота столба жидкости над всасывающим патрубком насоса). Он определяет минимальное давление на входе насоса, требуемое данным типом насоса для работы без кавитации, т. е. дополнительное давление, необходимое для предотвращения появления пузырьков.

На значение NPSH влияют тип рабочего колеса и частота вращения насоса. Внешними факторами, влияющими на данный параметр, являются температура жидкости, атмосферное давление.

Предотвращение кавитации

Чтобы избежать кавитации, жидкость должна поступать на вход центробежного насоса при определенной минимальной высоте всасывания, которая зависит от температуры и атмосферного давления.

Другими способами предотвращения кавитации являются:

- Повышение статического давления
- Понижение температуры жидкости (снижение давления парообразования PD)
- Выбор насоса с меньшим значением постоянного гидростатического напора (минимальная высота всасывания, NPSH)

Конструкции центробежных насосов

В системах водоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, центробежные насосы применяются повсеместно. Они различаются по типу конструкции и способу преобразования энергии.

Самовсасывающие и нормальновсасывающие насосы

Считается, что **самовсасывающий насос** способен удалять воздух из всасывающей линии. Теоретическая максимальная высота всасывания воды составляет 10,33 м и зависит от давления воздуха (норм. давление = 101,3 кПа).

По техническим причинам максимальная высота всасывания h_s , которую можно достичь, составляет 7–8 м. Это значение учитывает не только разность высот между самой нижней точкой (водной поверхностью) и всасывающим отверстием насоса, но также и потери на преодоление сопротивления в трубах, насосе и соединениях.

При расчете насоса учтите, что значение высоты всасывания h_s должно быть включено в расчетный напор со знаком минус.

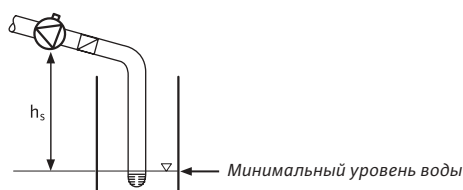
Линия всасывания должна иметь как минимум такой же условный проход, что и всасывающее отверстие насоса, или, по возможности, больше. Линия должна быть как можно короче.

Длинные линии всасывания создают повышенное сопротивление трению, что крайне отрицательно влияет на высоту всасывания.

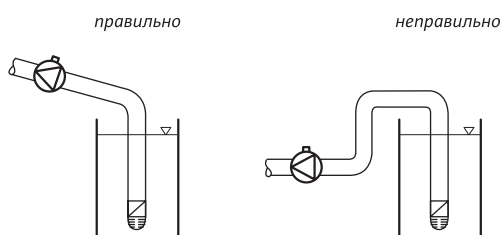
Всасывающая линия должна быть расположена так, чтобы она всегда имела наклон вверх по направлению к насосу. Если линия представляет собой шланг, предпочтительно использовать спиральные шланги, поскольку они имеют повышенную прочность и меньше подвержены утечкам. Обязательно соблюдайте меры по предотвращению утечек, иначе могут возникнуть неполадки и поломки в насосе.

В режиме всасывания рекомендуется всегда устанавливать обратный клапан, чтобы предотвратить опорожнение насоса и всасывающей линии. Обратный клапан с фильтром также защищает насос и расположенные ниже системы от крупных загрязнений, таких как листья, ветки, камни и насекомые. Если использовать обратный клапан невозможно, на всасывающих линиях перед насосом (всасывающим отверстием насоса) следует установить отсечной клапан/заслонку.

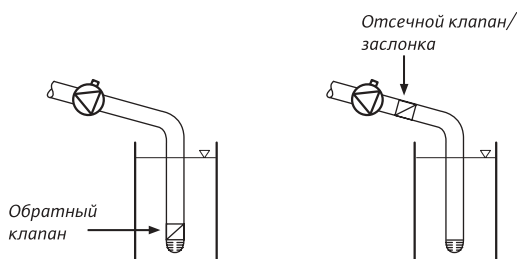
Высота всасывания насоса h_s



Расположение всасывающей линии



Всасывание



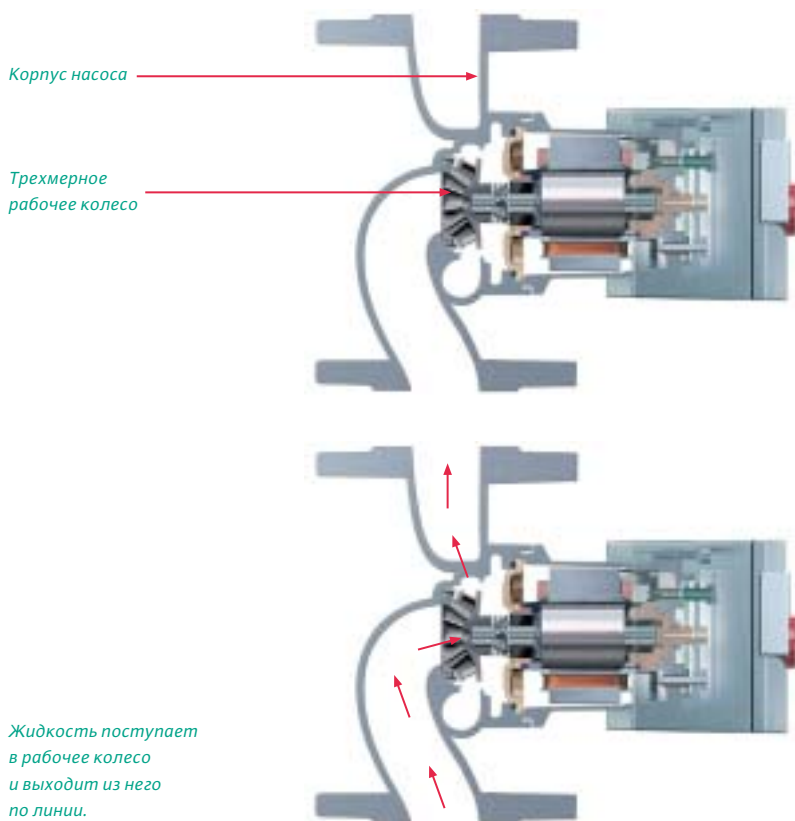
Установка с обратным клапаном или отсечным клапаном/заслонкой

Нормальновсасывающий насос не может удалять воздух из линии всасывания.

При использовании нормальновсасывающего насоса, насос и линия всасывания должны быть всегда заполнены жидкостью. Если в насос попадает воздух в результате утечки, например, через сальниковое уплотнение запорного клапана или через незакрывшийся обратный клапан на линии всасывания, насос и линию всасывания необходимо снова наполнять водой.

Работа центробежных насосов

Разрез насоса с мокрым ротором



Насосы необходимы для перемещения жидкостей и преодоления сопротивления потоку со стороны трубопроводных систем. В случае насосных систем с различными уровнями жидкостей сюда также включается преодоление разности геодезических высот.

Благодаря своей конструкции и используемому способу преобразования энергии, центробежные насосы представляют собой гидравлические двигатели.

Двигатель приводит во вращение вал насоса с установленным на нем рабочим колесом. Вода, поступающая в рабочее колесо в осевом направлении через всасывающее отверстие и входной патрубок, перемещается с помощью лопастей рабочего колеса в радиальном направлении. Центробежные силы, действующие на каждую частицу жидкости, способствуют повышению скорости и давления при прохождении воды через лопасти.

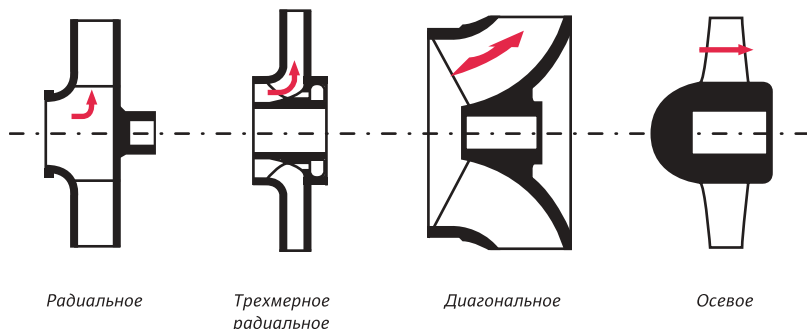
После того как вода проходит рабочее колесо, она собирается в спиральном кожухе. Скорость потока несколько замедляется благодаря конструкции кожуха. При этом напор увеличивается за счет преобразования энергии.

Насос состоит из следующих основных компонентов:

- корпус насоса;
- мотор;
- рабочее колесо.

Рабочие колеса

Типы рабочих колес



Рабочие колеса могут быть разных типов, а также открытые и закрытые.

Рабочие колеса большинства современных насосов имеют трехмерную конструкцию, объединяющую преимущества осевого и радиального колес.

КПД насоса

КПД любого механизма представляет собой отношение его полезной мощности к потребляемой. Это отношение обозначается греческой буквой η (эта).

Поскольку не существует такого понятия как "привод, не имеющий потерь", η всегда меньше 1 (100%). Для циркуляционного насоса системы отопления общий КПД определяется значением КПД мотора η_M (электрического и механического) и КПД насоса η_p . Произведение этих двух значений представляет собой общий КПД η_{tot} .

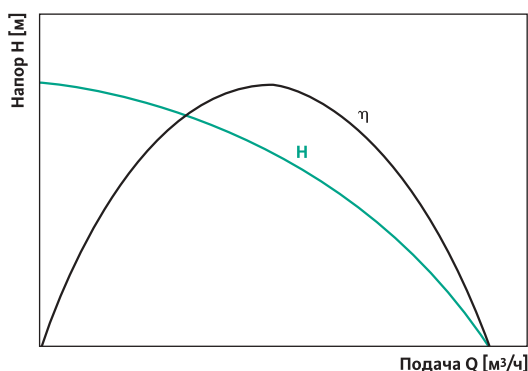
$$\eta_{tot} = \eta_M \cdot \eta_p$$

КПД насосов разных типов и размеров могут отличаться в очень широком диапазоне. Для насосов с мокрым ротором КПД η_{tot} равен от 5 % до 54 % (высокоэффективные насосы); для насосов с сухим ротором η_{tot} равен от 30 % до 80 %.

Даже в пределах характеристики насоса текущий КПД в тот или иной момент времени меняется от нуля до максимального значения.

Если насос работает при закрытом клапане, создается высокое давление, но вода не перемещается, поэтому КПД насоса в этот момент равняется нулю. То же самое справедливо при открытой трубе. Несмотря на большое количество перекачиваемой воды, давление не создается, а значит КПД равняется нулю.

Характеристика насоса



Самый большой общий КПД циркуляционного насоса системы отопления достигается в средней части характеристики насоса. В каталогах производителей насосов эта оптимальная рабочая характеристика указана отдельно для каждого насоса.

Насос никогда не работает при постоянной подаче. Поэтому, при расчете насосной системы, убедитесь, что рабочая точка насоса находится в средней трети характеристики насоса большую часть отопительного сезона. Это гарантирует работу насоса при оптимальном КПД.

КПД насоса определяется по следующей формуле:

$$\eta_p = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{367 \cdot P_2}$$

- η_p = КПД насоса
- Q [м³/ч] = Подача
- H [м] = Напор
- P_2 [кВт] = Мощность насоса
- 367 = Постоянный коэффициент
- ρ [кг/м³] = Плотность жидкости

КПД насоса зависит от его конструкции.

В следующих таблицах показаны значения КПД в зависимости от мощности выбранного мотора и конструкции насоса (с мокрым ротором/с сухим ротором).

КПД стандартных насосов с мокрым ротором (ориентировочные значения)

Насосы с мотором мощностью P_2	η_{tot}
до 100 Вт	прибл. 5 % – прибл. 25 %
от 100 до 500 Вт	прибл. 20 % – прибл. 40 %
от 500 до 2500 Вт	прибл. 30 % – прибл. 50 %

КПД насосов с сухим ротором (ориентировочные значения)

Насосы с мотором мощностью P_2	η_{tot}
до 1,5 кВт	прибл. 30 % – прибл. 65 %
от 1,5 до 7,5 кВт	прибл. 35 % – прибл. 75 %
от 7,5 до 45,0 кВт	прибл. 40 % – прибл. 80 %

Потребление энергии центробежными насосами

Как Вы уже поняли из предыдущего раздела, мотор приводит во вращение вал насоса, на котором установлено рабочее колесо. В насосе создается повышенное давление и жидкость перемещается через него, что является результатом преобразования электрической энергии в гидравлическую. Энергия, необходимая мотору, называется потребляемой энергией P_1 насоса.

См. главу "Характеристики насосов", с. 31

Выходные характеристики насосов

Выходные характеристики центробежных насосов приведены на графике: вертикальная ось, ордината, означает потребляемую энергию P_1 насоса в ваттах [Вт]. Горизонтальная ось или абсцисса показывает подачу Q насоса в кубических метрах в час [$m^3/ч$]. (Это также справедливо для характеристики насоса, которую мы обсудим позже.) В каталогах характеристики напора и мощности часто объединяются для наглядной демонстрации взаимосвязи.

Выходная характеристика демонстрирует следующую взаимосвязь: мотор потребляет минимум энергии при низкой подаче. При увеличении подачи потребление энергии также увеличивается.

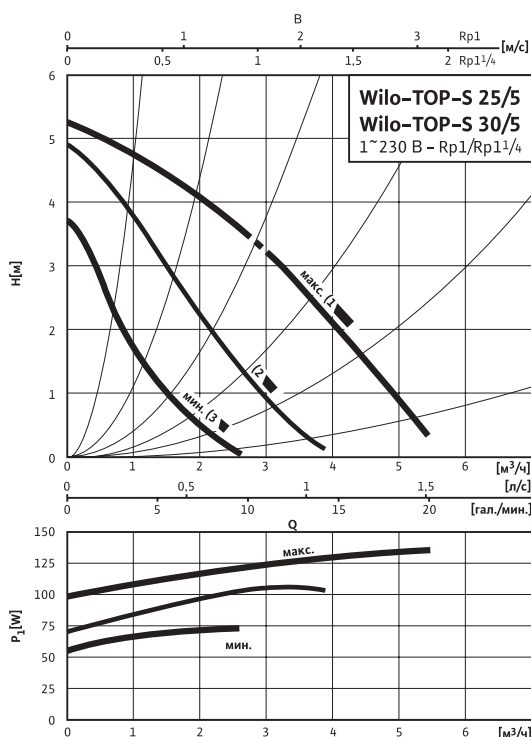
Влияние частоты вращения мотора

При изменении частоты вращения насоса и неизменных остальных условиях системы потребление энергии P изменяется пропорционально значению частоты n в кубе.

$$\frac{P_1}{P_2} \approx \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

На основании данных соображений, изменяя частоту вращения насоса можно адаптировать насос к требуемой тепловой нагрузке потребителя. При увеличении частоты вращения в два раза, подача увеличивается в той же пропорции. Напор возрастает в четыре раза. Поэтому, энергия, потребляемая приводом, получается умножением примерно на восемь. При снижении частоты, подача, напор в трубопроводе и потребление энергии уменьшаются в той же пропорции.

Характеристики Wilo-TOP-S



Взаимосвязь между напором насоса и графиком мощности P_1

Постоянная частота вращения, обусловленная конструкцией

Отличительной характеристикой центробежного насоса является то, что напор зависит от используемого мотора и его частоты вращения. Насосы с частотой $n > 1500$ об/мин называются быстроходными насосами, а те, у которых частота $n < 1500$ об/мин называются тихоходными.

Моторы тихоходных насосов имеют более сложную конструкцию, а значит, они более дорогие. Однако в случаях, когда использование тихоходного насоса возможно или даже необходимо из-за характеристик контура отопления, применение быстроходного насоса может привести к неоправданно высокому потреблению энергии. Таким образом, высокая цена тихоходного насоса компенсируется существенной экономией энергии, потребляемой приводом. Это способствует быстрой окупаемости первоначальных вложений.

См. главу "Бесступенчатое регулирование частоты вращения" на с. 36

Обеспечивая контролируемое снижение частоты вращения при снижении отопительной нагрузки, устройство бесступенчатого регулирования частоты вращения способствует значительной экономии средств.

Насосы с мокрым ротором

Установка насоса с мокрым ротором на прямую или обратную линию обеспечивает быстрое и интенсивное перемещение воды. В результате, появляется возможность использовать трубопроводы с меньшим сечением. Это приводит к снижению затрат на систему отопления. Это также означает, что в линиях системы теперь будет существенно меньшее количество воды. Система отопления может быстрее реагировать на колебания температуры и легче поддается регулировке.

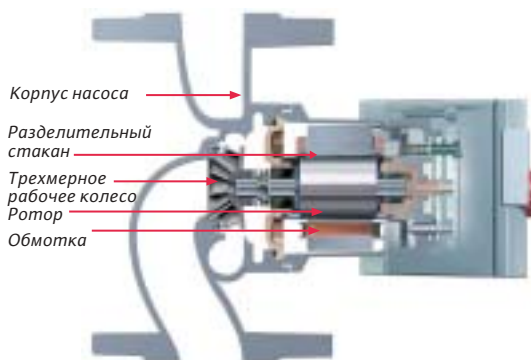
Особенности

Отличительной особенностью рабочего колеса центробежного насоса является радиальное перемещение воды. Вал, приводящий во вращение рабочее колесо, изготавливается из нержавеющей стали; подшипники вала сделаны из спеченного углеродистого или керамического материала. Ротор мотора, установленный на валу, вращается в воде. Вода смазывает подшипники и охлаждает мотор.

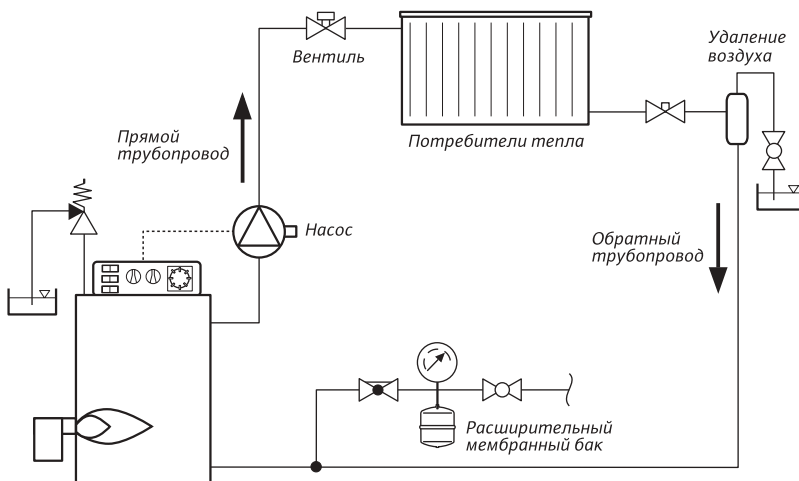
Находящийся под напряжением статор мотора окружен разделительным стаканом. Он сделан из немагнитной нержавеющей стали или углеродного волокна и имеет толщину стенки от 0,1 до 0,3 мм.

Для специальных применений, например, в системах водоснабжения, используются моторы насосов с фиксированной частотой вращения.

Если насос с мокрым ротором используется, например, в тепловом контуре, а значит предназначен подавать тепловую энергию к радиатору, он должен подстраиваться под меняющуюся тепловую нагрузку здания. Термостатические радиаторные клапаны, установленные перед поверхностями нагрева, определяют интенсивность подачи насоса.



Насосная система отопления



Для того, чтобы уменьшить потребление электроэнергии, необходимо, чтобы моторы насосов с мокрым ротором постоянно меняли частоту вращения. Частоту вращения можно менять вручную с помощью переключателей. Возможна также организация системы автоматики путем установки коммутационной аппаратуры и устройств управления, которые будут срабатывать в зависимости от времени, разности давлений или температуры.

С 1988 г. существуют конструкции со встроенными электронными устройствами, обеспечивающими бесступенчатое регулирование частоты вращения.

Насосы с мокрым ротором, в зависимости от размера и требуемой выходной мощности насоса, работают от сети 1~230 В~ или 3~400 В трехфазного тока.

Насосы с мокрым ротором отличаются малошумной работой и, благодаря своей конструкции, не имеют уплотнений вала.

Конструкция современного поколения насосов с мокрым ротором основана на модульном принципе. В зависимости от размера и требуемой выходной мощности насоса, модули компонуются в различные конфигурации. Таким образом, любой ремонт, который может потребоваться, можно осуществить с меньшими трудозатратами, просто заменив деталь на запасную.

Важным качеством этого типа насосов является их способность самостоятельно удалять воздух во время наладки.

Преимущества: меньшее сечение трубопровода, меньшее количество воды, более быстрая реакция на колебания температуры, меньшие расходы на установку



Первый полностью электронный насос с мокрым ротором со встроенным устройством бесступенчатого регулирования частоты вращения

Способы монтажа

Насосы с мокрым ротором поставляются с резьбовыми соединениями с условным проходом до R 1 1/4. Насосы большего размера имеют фланцевые соединения. Эти насосы могут монтироваться в трубопровод горизонтально или вертикально без сооружения фундамента.

Как было упомянуто раньше, смазка подшипников такого насоса осуществляется рабочей жидкостью. Она также служит охлаждающей жидкостью для электромотора. Поэтому через разделительный стакан должна постоянно циркулировать жидкость.

Вал насоса мокрого ротора должен всегда располагаться горизонтально. Монтаж с валом, установленным вертикально, приводит к неустойчивой работе системы и, как следствие, быстрому выходу насоса из строя.

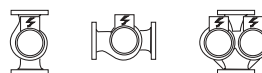
Подробную информацию о способах монтажа см. в инструкции по монтажу и эксплуатации.

Способы монтажа насосов с мокрым ротором (неполный перечень)

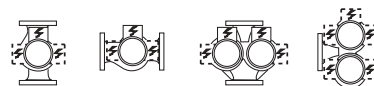
Недопустимые способы установки



Допустимо без ограничений для насосов с бесступенчатым регулированием частоты вращения



Допустимо без ограничений для насосов с 1, 3 или 4 скоростями



Насосы с сухим ротором

Особенности

Насосы с сухим ротором используются для подачи жидкостей с большим напором. Лучше всего они подходят для подачи охлаждающей жидкости и агрессивных сред. В отличие от насосов с мокрым ротором, в этих насосах жидкость не соприкасается с мотором.

Еще одним их отличием от насосов с мокрым ротором является способ изоляции корпуса/вала насоса. Это достигается с помощью сальникового или скользящего торцевого уплотнений (СТУ).

В стандартных насосах с сухим ротором обычно используются трехфазные моторы с постоянной частотой вращения. Как правило, они регулируются через внешнюю электронную систему управления частотой вращения. Сегодня насосы с сухим ротором выпускаются со встроенным электронным блоком управления частотой вращения, который благодаря современной технологии может устанавливаться и на моторы с большой выходной мощностью.

Общий КПД насосов с сухим ротором существенно выше, чем у насосов с мокрым ротором.

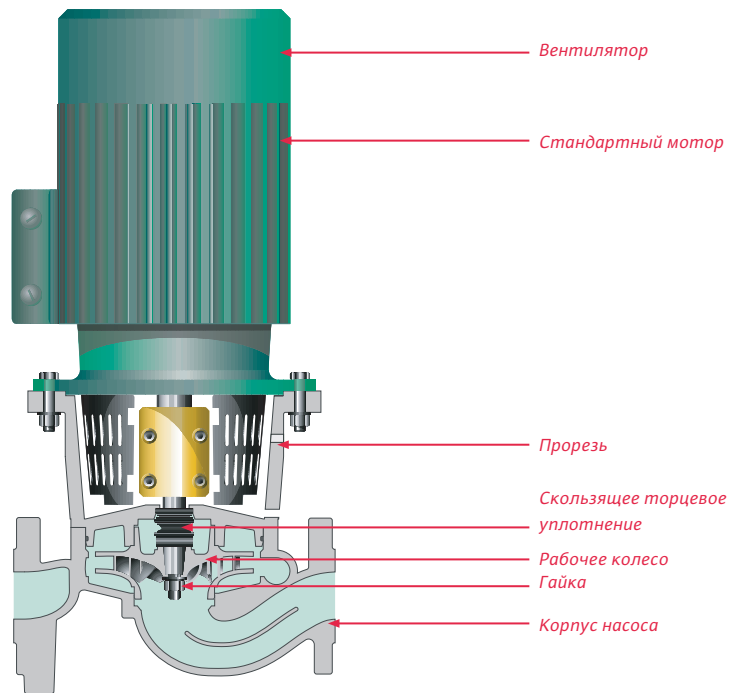
Насосы с сухим ротором подразделяются на три основных типа:

In-line насосы

Насосы, у которых всасывающий и напорный патрубки находятся на одной оси и имеют одинаковый условный проход, называются in-line насосами. In-line насосы оснащаются стандартными фланцевыми электромоторами с воздушным охлаждением.

Такой тип насосов считается наиболее подходящим для систем зданий, требующих большой выходной мощности. Эти насосы устанавливаются непосредственно на трубопровод. При этом трубопровод закрепляется кронштейнами или насос устанавливается на фундамент или отдельный кронштейн.

Конструкция in-line насоса с сухим ротором



Блочные насосы

Блочные насосы являются низконапорными центробежными насосами постоянной частоты вращения со стандартным электромотором воздушного охлаждения. Жидкость поступает в насос в осевом направлении, а выходит в радиальном. Кронштейны или опоры для мотора входят в стандартную комплектацию насосов.

Консольные насосы

Данные центробежные насосы имеют осевой вход и радиальный выход жидкости из насоса. Насос и мотор имеют самостоятельные узлы крепления. Поэтому они устанавливаются на фундаментной плите.

В зависимости от жидкости и рабочих условий, они могут оснащаться СТУ или сальниковым уплотнением. Условный проход таких насосов определяется напорным патрубком. Всасывающий патрубок имеет больший условный проход.

См. главу "Уплотнение вала", с. 28

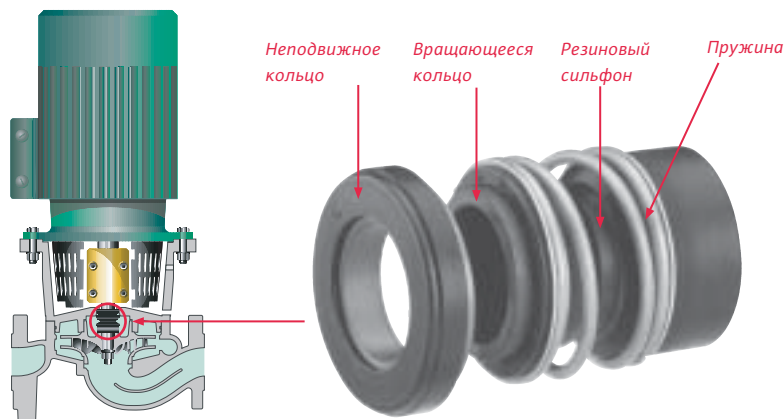
Примечание:

СТУ подвержены износу. Работа насоса "на сухую" не допустима и может привести к разрушению СТУ.

Уплотнение вала

Как Вы уже поняли из предыдущего раздела, вал может быть герметизирован (в стандартной комплектации или в качестве опции, в случае с консольными насосами) от атмосферы с помощью СТУ или сальниковым уплотнением. Ниже приводится описание этих двух типов уплотнений.

СТУ насоса с сухим ротором



Скользящие торцевые уплотнения

Основой конструкции скользящего торцевого уплотнения являются два кольца с тщательно отполированными поверхностями. Они прижимаются друг к другу с помощью пружины и работают вместе. СТУ являются динамическими уплотнениями и используются для герметизации вращающегося в жидкости вала при высоких рабочих давлениях.

СТУ состоит из двух отполированных износостойких колец (например, силиконовых или графитовых), которые прижаты друг к другу осевыми силами. Одно кольцо (динамическое) вращается вместе с валом, в то время как другое (статическое) неподвижно закреплено в корпусе.

Между поверхностями скольжения образуется тонкая пленка воды, служащая смазкой и средством охлаждения.

В зависимости от режима работы насоса возможно несколько типов трения сопрягаемых поверхностей: смешанное трение, граничное трение или сухое трение, причем последнее (происходящее при отсутствии смазывающей пленки) вызывает немедленное разрушение поверхностей. Срок службы зависит от рабочих условий, таких как состав и температура рабочей жидкости.

Сальниковые уплотнения

В качестве материалов для сальников используют высококачественную пряжу из синтетических волокон, например Kevlar® или Twaron®, PTFE, пряжу из пористого графита, пряжу из синтетических минеральных волокон, а также натуральные волокна, такие как пенька, вата или рами. Материал для сальников выпускается в виде нитей или спрессованных мотков, в сухом виде или со специальной пропиткой в зависимости от назначения. Если материал приобретает в виде нитей, сначала необходимо сформировать кольцо и придать ему форму. Затем, кольцо сальника оборачивается вокруг вала насоса и подтягивается с помощью обжимной втулки.

Типы монтажа

Допустимые способы монтажа

- In-line насосы предназначены для горизонтальной и вертикальной установки непосредственно на трубопроводе.
- Для демонтажа мотора, элементов насоса необходимо оставить достаточное пространство.
- При подсоединении трубопроводов на насос не должны передаваться напряжения и вес трубопроводов, а насос следует установить на опоры (если они есть).

Недопустимые способы монтажа

- Монтаж, при котором мотор и клеммная коробка направлены вниз, не допускается.
- Если мощность мотора превышает определенный уровень, перед монтажом насоса в горизонтальном положении следует проконсультироваться с производителем.

Особые указания для блочных насосов

- Блочные насосы должны устанавливаться на соответствующие фундаменты или кронштейны.
- Установка блочного насоса, при которой мотор и клеммная коробка направлены вниз, не допускается. Все другие способы монтажа считаются допустимыми.

Подробную информацию о способах установки см. в инструкции по монтажу и эксплуатации.

Центробежные насосы высокого давления

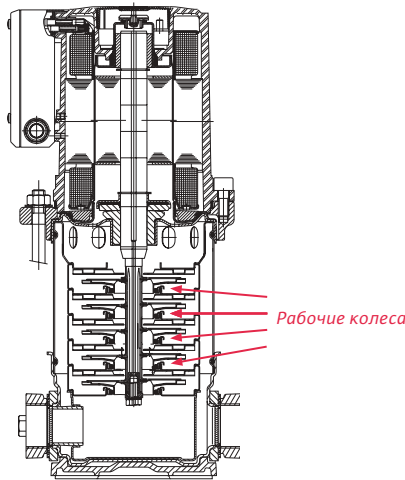
Эти насосы обычно являются многоступенчатыми.

Интенсивность подачи насоса зависит от размера рабочего колеса и других факторов. Напор в центробежных насосах высокого давления достигается применением нескольких рабочих колес, установленных последовательно. Кинетическая энергия преобразуется в давление частично в рабочем, а частично в выпрямляющем аппарате.

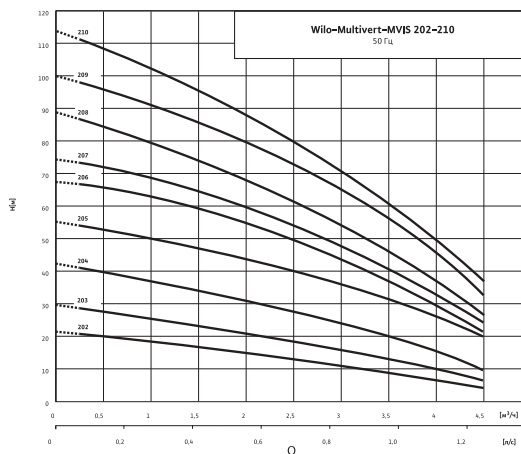
Благодаря возможности варьирования числом ступеней центробежные насосы высокого давления развивают более высокое давление по сравнению с низконапорными одноступенчатыми центробежными насосами.

Некоторые насосы имеют до 20 ступеней. Таким образом, они могут обеспечивать напор до 250 м. Почти все центробежные насосы высокого давления, которые мы описали, принадлежат к семейству насосов с сухим ротором. Тем не менее, в последнее время производители с успехом оснащают их моторами с мокрым ротором.

Разрез центробежного насоса высокого давления



Характеристики центробежного насоса высокого давления



Центробежный насос высокого давления с мотором с мокрым ротором

Характеристики

Характеристики насосов

Повышение давления насосом называется напором.

Определение понятия напора

Под напором насоса (Н) понимается удельная механическая работа, передаваемая насосом перекачиваемой жидкости.

$$H = \frac{E}{G} \text{ [m]}$$

E = механическая энергия [Н·м]

G = вес перекачиваемой жидкости [Н]

При этом напор, создаваемый насосом, и расход перекачиваемой жидкости (подача) зависят друг от друга. Эта зависимость отображается графически в виде характеристики насоса.

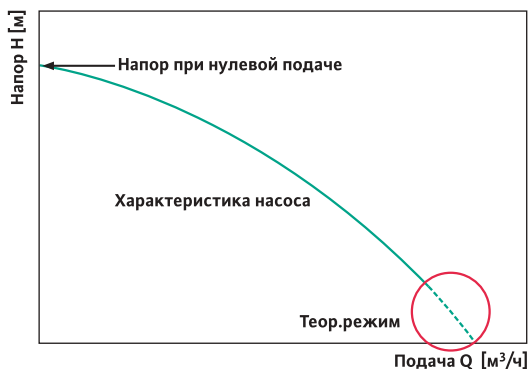
Вертикальная ось (ось ординат) отражает напор насоса (Н), выраженный в метрах [м]. Возможны также другие масштабы шкалы напора. При этом действительны следующие соотношения:

$$10 \text{ м в.ст.} = 1 \text{ бар} = 100\,000 \text{ Па} = 100 \text{ кПа}$$

На горизонтальной оси (ось абсцисс) нанесена шкала подачи насоса (Q), выраженной в кубометрах в час [м³/ч]. Возможны также другие масштабы шкалы подачи, например [л/с].

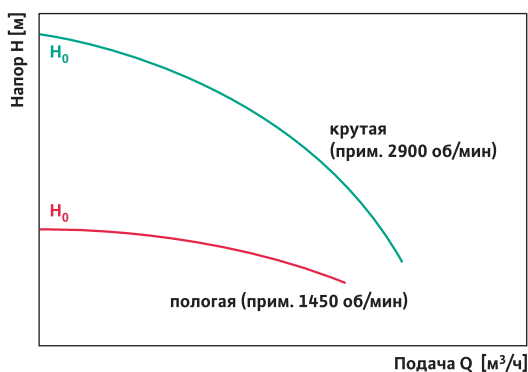
Форма характеристики показывает следующие виды зависимости: энергия электропривода (с учетом общего КПД) преобразуется в насосе в такие формы гидравлической энергии, как давление и скорость. Если насос работает при закрытом клапане, он создает максимальное давление. В этом случае говорят о напоре насоса H_0 при нулевой подаче. Когда клапан начинает медленно открываться, перекачиваемая среда приходит в движение. За счет этого часть энергии привода преобразуется в кинетическую энергию жидкости. Поддержание первоначального давления становится невозможным. Характеристика насоса приобретает форму падающей кривой. Теоретически характеристика насоса пересекается с осью подачи. Тогда вода обладает только кинетической энергией, то есть давление уже не создается. Однако, так как в системе трубопроводов всегда имеет место внутреннее сопротивление, в реальности характеристики насосов обрываются до того, как будет достигнута ось подачи.

Характеристики насосов



Форма характеристик насоса

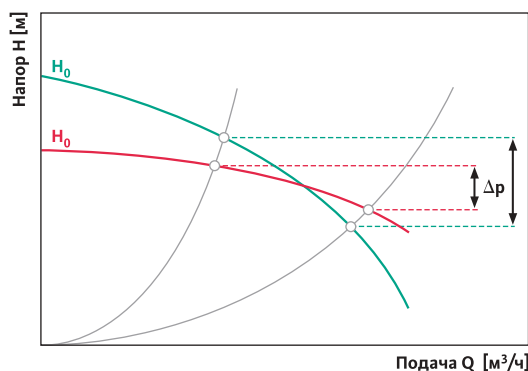
На следующем рисунке показана различная крутизна характеристик насоса, которая может зависеть, в частности, от частоты вращения мотора.



Различная крутизна при идентичном корпусе и рабочем колесе насосов (например, в зависимости от частоты вращения мотора)

При этом крутизна характеристики и смещение рабочей точки влияет также на изменение подачи и напора:

- пологая кривая
 - большее изменение подачи при незначительном изменении напора
- крутая кривая
 - большее изменение подачи при значительном изменении напора

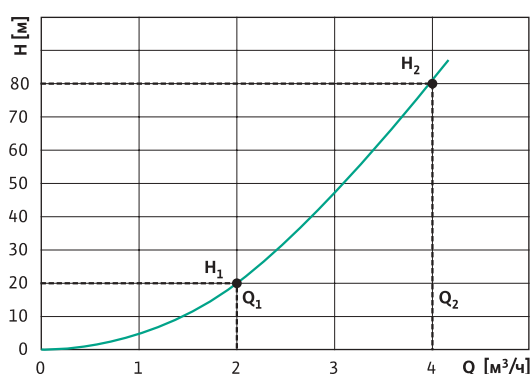


Различное изменение подачи и давления

Характеристика системы

Трение, имеющее место в трубопроводной сети, ведет к потере давления перекачиваемой жидкости по всей длине. Кроме этого, потеря давления зависит от температуры и вязкости перекачиваемой жидкости, скорости потока, свойств арматуры и агрегатов, а также сопротивления, обусловленного диаметром, длиной и шероховатостью стенок труб. Потеря давления отображается на графике в виде характеристики системы. Для этого используется тот же график, что и для характеристики насоса.

Характеристика системы



Форма характеристики показывает следующие зависимости:

Причиной гидравлического сопротивления, имеющего место в трубопроводной сети, является трение воды о стенки труб, трение частиц воды друг о друга, а также изменение направления потока в фасонных деталях арматуры. При изменении подачи, например, при открывании и закрывании термостатических вентилей, изменяется также скорость потока и, тем самым, сопротивление. Так как сечение труб можно рассматривать как площадь живого сечения потока, сопротивление изменяется квадратично. Поэтому график будет иметь форму параболы.

Эту связь можно представить в виде следующего уравнения:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2$$

Выводы

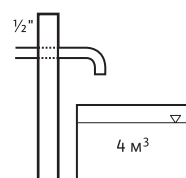
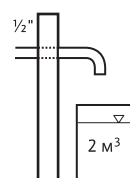
Если подача в трубопроводной сети уменьшается в два раза, то напор падает на три четверти. Если, напротив, подача увеличивается в два раза, то напор повышается в четыре раза.

В качестве примера можно взять истечение воды из отдельного водопроводного крана. При начальном давлении 2 бара, что соответствует напору насоса прим. 20 м, вода вытекает из крана DN 1/2 с расходом 2 м³/ч. Чтобы увеличить подачу в два раза, необходимо повысить начальное давление на входе с 2 до 8 бар.

Зависимость расхода при различном начальном давлении на входе

Давление на входе 2 бар
Подача 2 м³/ч

Давление на входе 8 бар
Подача 4 м³/ч



Рабочая точка

Точка, в которой пересекаются характеристики насоса и системы, является рабочей точкой системы и насоса.

Это означает, что в этой точке имеет место равновесие между полезной мощностью насоса и мощностью, потребляемой трубопроводной сетью. Напор насоса всегда равен сопротивлению системы. От этого зависит также подача, которая может быть обеспечена насосом.

При этом следует иметь в виду, что подача не должна быть ниже определенного минимального значения. В противном случае это может вызвать слишком сильное повышение температуры в насосной камере и, как следствие, повреждение насоса. Во избежание этого следует неукоснительно соблюдать инструкции производителя. Рабочая точка за пределами характеристики насоса может вызвать повреждение мотора.

По мере изменения подачи в процессе работы насоса также постоянно смещается рабочая точка. Найти оптимальную расчетную рабочую точку в соответствии с максимальными эксплуатационными требованиями входит в задачи проектировщика. Такими требованиями являются: для циркуляционных насосов систем отопления — потребление тепла зданием, для установок повышения напора — пиковый расход для всех мест водоразбора.

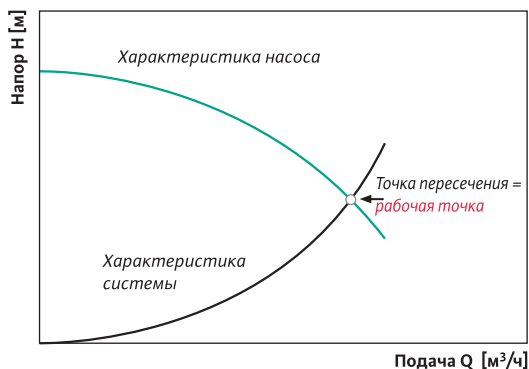
Все остальные рабочие точки находятся слева от данной расчетной рабочей точки.

На следующих двух рисунках показано влияние изменения гидродинамического сопротивления на смещение рабочей точки.

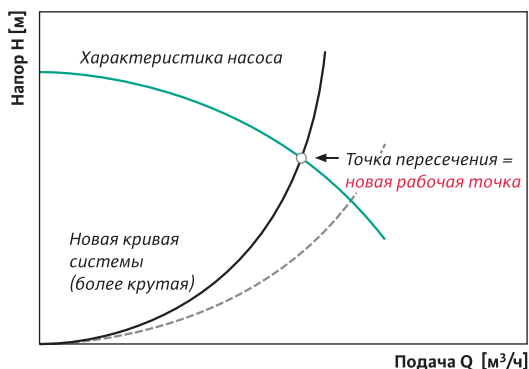
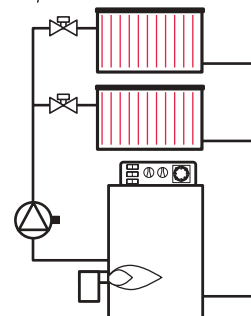
Смещение рабочей точки по направлению влево от расчетного положения неизбежно вызывает увеличение напора насоса. В результате этого возникает шум в клапанах.

Регулирование напора и подачи в соответствии с потребностью может производиться применением насосов с частотным преобразователем. При этом существенно сокращаются эксплуатационные расходы.

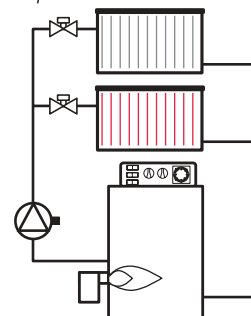
Изменяющаяся рабочая точка



открыты оба термостатических вентиля



открыт только один термост. вентиль



Регулирование параметров насоса в зависимости от отопительной нагрузки

В нашем климатическом поясе наблюдаются значительные колебания температуры наружного воздуха. Летом столбик термометра поднимается до температуры плюс 20 °С – 30 °С, а зимой падает до минус 15 °С – 30 °С и даже ниже. Однако такие колебания совершенно неприемлемы для температуры воздуха в жилых помещениях. Сначала был огонь, которым обогревали пещеры. Позднее были изобретены системы отопления, описанные в первой части настоящей брошюры.

Сезонные изменения температуры

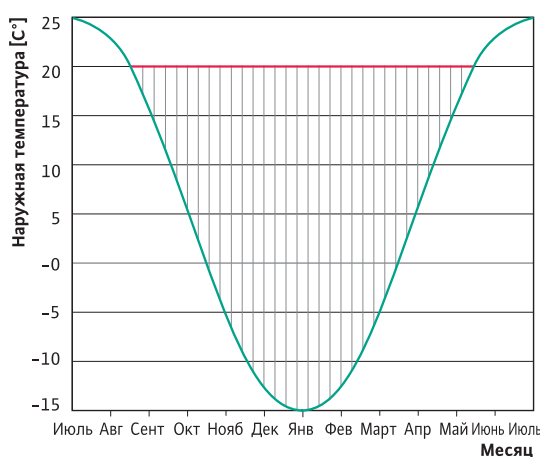
На рисунке справа показана область, заштрихованная вертикальными линиями, которая совершенно четко показывает, как в зависимости от сезонных колебаний температуры наружного воздуха изменяется потребность в тепловой энергии.

В те времена, когда все самые распространенные виды топлива (дрова, уголь и даже масло на заре развития систем отопления) стоили очень дешево, а также когда отопление субсидировалось государством (в бывшей ГДР), было все равно, сколько тратить на отопление. В крайнем случае можно было просто открыть окно. Такой способ регулирования температуры в помещении можно в шутку назвать "двухпозиционным регулированием": "окно открыто/окно закрыто".

Первый нефтяной кризис, произошедший в 1973 г., показал необходимость экономного использования энергоресурсов.

С тех пор особое значение приобрел вопрос хорошей теплоизоляции зданий. Появлялись новые технологии в строительстве, постоянно изменялись законодательные требования. Разумеется, параллельно с этим совершенствовалась и отопительная техника. Сначала широкое распространение получили термостатические вентили, позволяющие индивидуально регулировать температуру в помещении.

Температура наружного воздуха в зависимости от времени года



Заштрихованная область графика обозначает зону, которая показывает потребность в тепловой энергии в зависимости от сезонных колебаний температуры.

Однако на практике это означало ограничение подачи горячей воды, что вызывало повышение давления в насосах с фиксированной частотой вращения (вдоль характеристики насоса) и, как следствие, возникновение шумов в клапанах. Тогда были изобретены перепускные клапаны, предназначенные для сброса избыточного давления.

См. главу "Рабочая точка" на с. 33.

Переключение частоты вращения насоса

Производители насосов предлагают насосы с мокрым ротором с ручным регулированием частоты вращения. Как уже было сказано в предыдущих разделах, по мере уменьшения частоты вращения уменьшается и объемный расход (подача) — в зависимости от пропускной способности термостатических и регулирующих клапанов. Благодаря таким свойствам циркуляционный насос можно переключить на меньшую частоту вращения, когда нужно уменьшить температуру в помещении, и наоборот.

Бесступенчатое регулирование частоты вращения

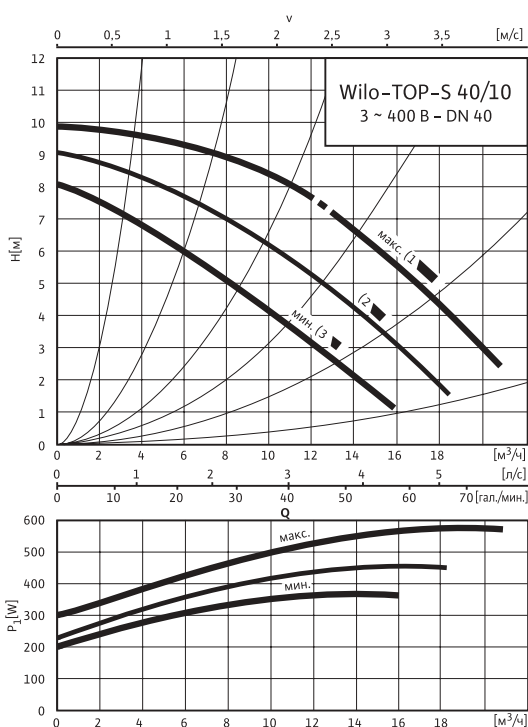
Возможность бесступенчатого регулирования частоты вращения насосов с сухим ротором, оснащенных моторами большой мощности, в зависимости от отопительной нагрузки появилась еще в первой половине 80-х годов. Для этой цели использовались электронные преобразователи частоты.

Для понимания этой технологии можно вспомнить о том, что в обычной электросети переменный ток имеет частоту 50 Гц. С пропорциональной частотой вращается ротор в моторе насоса.

С помощью электронных приборов можно повышать или понижать частоту переменного тока, т. е. непрерывно регулировать частоту, например, между 100 Гц и 0 Гц.

Однако, в связи с конструктивными особенностями моторов, частота тока в системах отопления не может быть менее 20 Гц или 40 % от максимальной частоты вращения. Так как максимальная теплопроизводительность рассчитывается для самых холодных дней, необходимость эксплуатации моторов с максимальной частотой вращения может возникнуть только в исключительных случаях.

Характеристики Wilo-TOP-S



Насос с мокрым ротором Wilo-TOP-S с переключаемыми ступенями частоты вращения

Чтобы частоту вращения моторов можно было изменять, в их конструкции использовались многосекционные обмотки. Если через трубопроводы системы отопления проходит небольшое количество воды, то сопротивление внутри труб низкое, поэтому насос может работать в режиме минимальной частоты вращения. Одновременно значительно уменьшается потребление электрической мощности.

Между тем было разработано большое количество приборов управления, предназначенных для плавного бесступенчатого регулирования циркуляционными насосами систем отопления. Эти приборы управления изменяют частоту вращения автоматически в зависимости от следующих параметров:

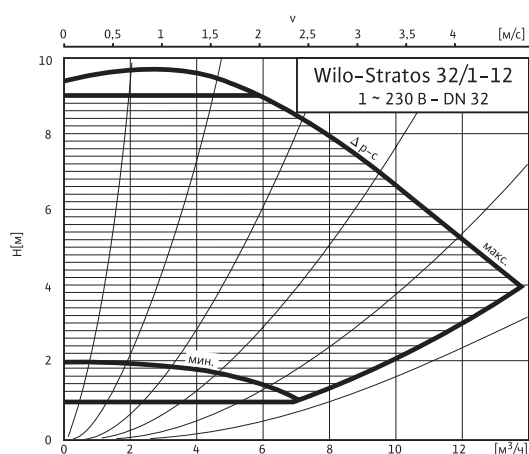
- времени,
- температуры воды,
- перепада давления,
- других факторов, влияющих на работу системы.

20 лет назад приходилось использовать огромные трансформаторные блоки, сейчас преобразователи частоты настолько малы, что легко могут поместиться в клеммных коробках непосредственно на корпусе насоса, например, как у насоса Wilo-Stratos.

Встроенная система бесступенчатого регулирования частоты вращения гарантирует поддержание установленного напора на постоянном уровне независимо от того, какой должна быть подача, определяемая погодными условиями и особенностями эксплуатации.

В 2001 г. был сделан еще один шаг вперед в плане развития насосов с мокрым ротором. Преимущество последнего поколения этих насосов, называемых также высокоэффективными насосами, состоит в существенной экономии электроэнергии благодаря новейшей технологии ЕСМ (мотор с электронной системой связи, или мотор с постоянным магнитом) в сочетании с высоким КПД.

Поле характеристик насоса Wilo-Stratos



Бесступенчатое регулирование частоты вращения у высокоэффективных насосов Wilo-Stratos

См. главу "Насосы с мокрым ротором" на с. 25.

Способы регулирования

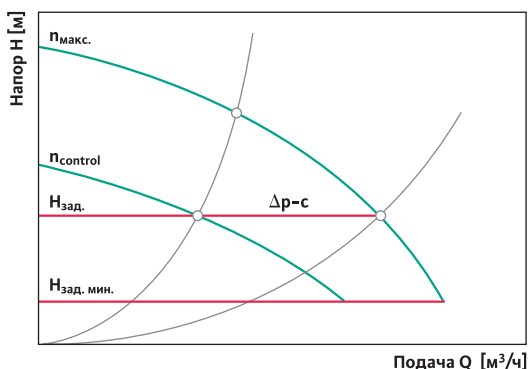
Представленные на сегодняшний день на рынке насосы с электронным управлением позволяют выбирать различные способы регулирования и рабочие режимы с помощью электронного блока управления.

При этом следует провести различие между способами регулирования, при которых насос регулируется автоматически, и рабочими режимами, при которых насос не регулируется автоматически, а настраивается на определенную рабочую точку с помощью команд.

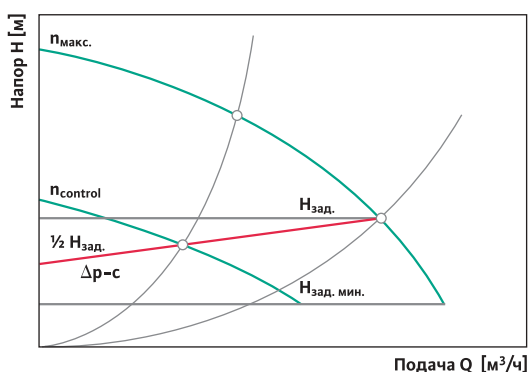
Ниже дан обзор наиболее часто используемых способов регулирования и рабочих режимов насоса. Благодаря дополнительным приборам управления и регулирования можно обрабатывать и передавать также целый ряд другой информации.

Способы регулирования

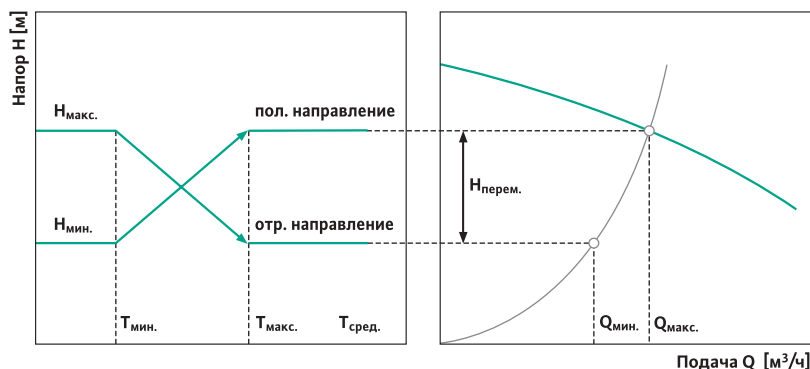
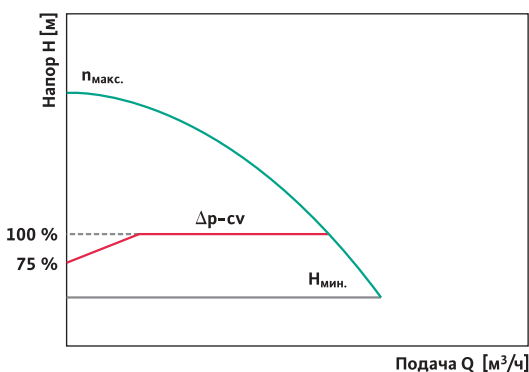
Постоянный перепад давления: $\Delta p-s$



Переменный перепад давления: $\Delta p-v$



Переменный/постоянный перепад давления $\Delta p-sv$



Регулирование перепада давления от температуры: $\Delta p-T$

Возможные способы регулирования:

$\Delta p-s$ — Постоянный перепад давления
Электроника поддерживает создаваемый насосом перепад давления в пределах допустимого диапазона на уровне установленного заданного значения перепада давления H_5 до достижения максимальной характеристики.

$\Delta p-v$ — Переменный перепад давления
Электроника выполняет заданное изменение перепада давления, которое должно поддерживаться насосом, например, линейно в диапазоне от H_5 до $1/2 H_5$. Заданное значение перепада давления (H) уменьшается или увеличивается в зависимости от подачи (Q).

$\Delta p-sv$ — Переменный/постоянный перепад давления
При этом способе регулирования электроника поддерживает создаваемый насосом перепад давления на уровне установленного значения перепада давления до достижения определенной подачи (H_5 100 %). При дальнейшем снижении подачи электроника линейно изменяет перепад давления, который должен поддерживаться насосом, в диапазоне от H_5 100 % до H_5 75 %.

$\Delta p-T$ — Регулирование перепада давления от температуры
При этом способе регулирования электроника изменяет заданное значение перепада давления, которое должно поддерживаться насосом, в зависимости от измеренной температуры среды.

Для этого способа регулирования возможны два варианта настроек:

- регулирование в положительном направлении.
По мере повышения температуры перекачиваемой среды заданное значение перепада давления линейно увеличивается в диапазоне от $H_{мин}$ до $H_{макс}$. Этот вариант применяется, например, в стандартных котлах с постоянно изменяющейся температурой в прямом трубопроводе.
- регулирование в отрицательном направлении.

По мере повышения температуры перекачиваемой среды заданное значение перепада давления линейно уменьшается в диапазоне от $H_{макс}$ до $H_{мин}$. Этот вариант применяется, например, в котлах, использующих теплоту сгорания, в которых должна поддерживаться определенная минимальная температура на выходе с целью достижения максимально высокого коэффициента использования теплоносителя. Для этого насос должен быть обязательно установлен на обратном трубопроводе системы.

Возможные рабочие режимы:

Автоматическое уменьшение частоты вращения (автопилот)
 Новые насосы с мокрым ротором и электронной системой управления оснащены функцией автоматического уменьшения частоты вращения (автопилот). При снижении температуры в прямом трубопроводе насос автоматически уменьшает частоту вращения (режим низкой нагрузки). Такой способ регулирования обеспечивает снижение энергопотребления насоса до минимального уровня и в большинстве случаев является оптимальным.

Использование функции уменьшения частоты вращения (автопилот) возможно только после гидравлической балансировки системы. В противном случае в морозную погоду части системы, находящиеся в зоне недостаточного снабжения, могут замерзнуть.

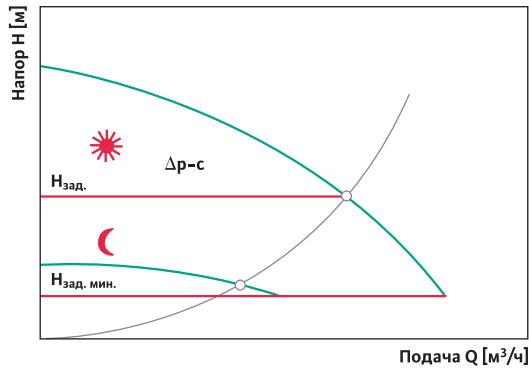
Ручное регулирование

Этот рабочий режим предусмотрен в насосах с электронной системой управления определенной мощности. Частота вращения насоса устанавливается на постоянном уровне в диапазоне между $n_{\text{мин}}$ и $n_{\text{макс}}$ с помощью электронного модуля насоса. При выборе режима "Ручное регулирование" функция регулирования перепада давления на электронном модуле деактивируется.

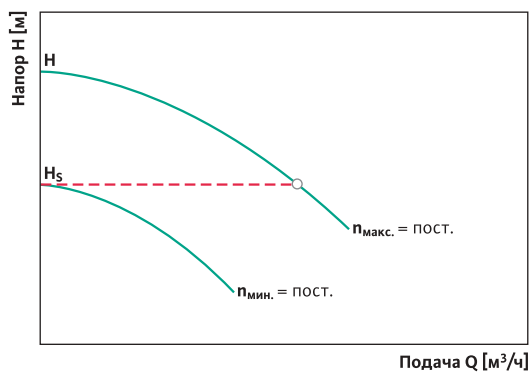
DDC (Прямое цифровое управление) и соединение с АСУ (Автоматизированной системой управления зданием)

В этих рабочих режимах заданное значение передается на электронный модуль насоса через соответствующую систему АСУ здания. Заданное значение рассчитывается в данной системе путем сравнения заданного и фактического значений и передается в виде аналогового сигнала $0 - 10 \text{ В/}0 - 20 \text{ мА}$ или $2 - 10 \text{ В/}4 - 20 \text{ мА}$ либо цифрового сигнала (интерфейс PLR или LON насоса).

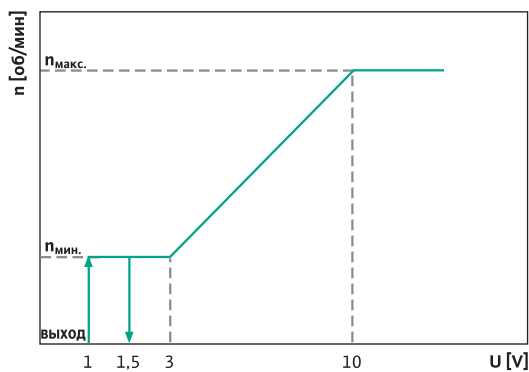
Характеристики для рабочих режимов



Рабочий режим "Автоматическое уменьшение частоты вращения (автопилот)"



Рабочий режим "Ручное управление"



Рабочий режим "DDC – Прямое цифровое управление"

Примерный расчет параметров насоса для стандартных систем отопления

Объем воды, перекачиваемый насосом системы отопления, зависит от потребления тепла зданием. Напротив, напор определяется гидравлическим сопротивлением, имеющим место в трубопроводах. При монтаже новой системы отопления эти параметры легко можно рассчитать с помощью компьютерных программ, которые сегодня находятся на очень высоком уровне. Однако при проведении ремонта уже имеющихся систем отопления такие расчеты обычно затруднены. Для получения необходимых данных о подаче насоса можно прибегнуть к различным примерным схемам расчета.

Подача насоса

В случае монтажа в системе отопления нового циркуляционного насоса подача определяется по следующей формуле:

$$Q_{PU} = \frac{Q_N}{1,163 \cdot \Delta\vartheta} \quad [\text{м}^3/\text{ч}]$$

Q_{PU} = подача насоса в расчетной точке в $[\text{м}^3/\text{ч}]$

Q_N = потребление тепла на отапливаемой площади в $[\text{кВт}]$

1,163 = удельн. тепловая емкость $[\text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{кг} \cdot \text{К}]$

$\Delta\vartheta$ = расчетная разность температур в прямом и обратном трубопроводах системы отопления в $[\text{К}]$, при этом за основу можно принять 10 – 20 К для стандартных систем.

Напор насоса

Чтобы обеспечить доставку перекачиваемой жидкости в любую точку системы отопления, насос должен преодолеть сумму всех гидравлических сопротивлений. Так как обычно определить схему прокладки и условный проход трубопроводов довольно трудно, для примерного расчета напора можно использовать следующую формулу:

$$H_{PU} = \frac{R \cdot L \cdot ZF}{10.000} \quad [\text{м}]$$

R = потери на трение в трубах $[\text{Па}/\text{м}]$
При этом можно принять за основу значение 50 Па/м – 150 Па/м для стандартных систем (в зависимости от года постройки дома, в старых домах в связи с использованием труб большего диаметра потери давления меньше (50 Па/м)).

L = длина $[\text{м}]$ прямого и обратного трубопроводов или: (длина дома + ширина дома + высота дома) $\times 2$

ZF = коэффициент для
фасонных деталей/арматуры $\approx 1,3$
Термостатического вентиля $\approx 1,7$
При наличии всех этих конструктивных элементов можно использовать коэффициент **2,2**.
Фасонные детали/арматура $\approx 1,3$
Термостатический клапан $\approx 1,7$
Смеситель/
гравитационный тормоз $\approx 1,2$
При наличии всех этих конструктивных элементов можно использовать коэффициент **2,6**.

10 000 = коэффициент пересчета (м) и (Па)

Пример

Тепловой генератор, установленный в многоквартирном доме старой постройки, имеет, согласно расчетам или документации, мощность 50 кВт.

Для перепада температур $\Delta t = 20 \text{ K}$ ($t_{\text{прям.}} = 90 \text{ }^\circ\text{C} / t_{\text{обр.}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$) получается следующее:

$$Q_{\text{РУ}} = \frac{50 \text{ кВт}}{1,163 \cdot 20 \text{ K}} = 2,15 \text{ м}^3/\text{ч}$$

При необходимости отопления аналогичного здания при меньшем перепаде температур (например, 10 K) циркуляционный насос должен обеспечить перекачивание двойного объемного расхода, то есть 4,3 м³/ч с тем, чтобы тепловая энергия, производимая теплогенератором, могла доставляться к потребителям тепла в необходимом количестве.

Потери давления из-за трения в трубопроводе составляют в нашем примере 50 Па/м, общая длина прямого и обратного трубопроводов — 150 м, коэффициент — 2,2, так как смеситель и гравитационный тормоз отсутствуют. В результате получаем напор (H):

$$H_{\text{РУ}} = \frac{50 \cdot 150 \cdot 2,2}{10.000} = 1,65 \text{ м}$$



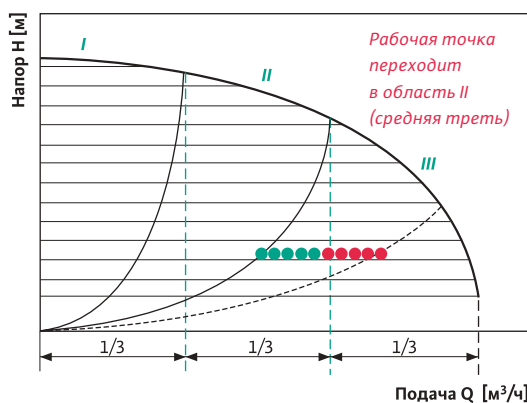
Из главы "Конструкции центробежных насосов" нам уже известно о зависимости кривой КПД от подачи насоса. Если кривая КПД учитывается при выборе насоса, становится очевидно, что средняя треть характеристики представляет собой наиболее благоприятный расчетный диапазон с энергетической точки зрения. У систем с переменным объемным расходом расчетная точка должна лежать в правой трети, так как рабочая точка циркуляционного насоса для систем отопления перемещается в среднюю треть и остается там до 98 % от общего рабочего времени.

По мере увеличения сопротивления, например, при закрывании термостатических вентилей, характеристика системы становится более крутой.

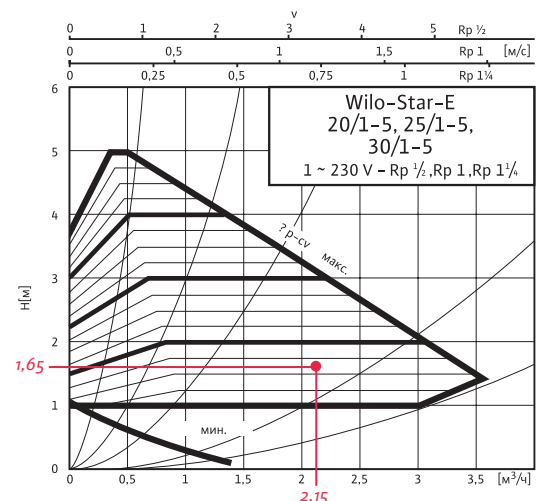
В результате расчета параметров напора (H) и подачи (Q) в соответствии с каталогом для примерных расчетов получается следующее:

Рабочая точка в поле характеристик насоса при переменном объемном расходе

- **Область I (левая треть)**
Если рабочая точка лежит в этой области, следует выбрать меньший насос.
- **Область II (средняя треть)**
Насос работает в оптимальном рабочем диапазоне до 98 % от общего рабочего времени.
- **Область III (правая треть)**
Регулируемый насос работает в неблагоприятном диапазоне то есть 2 % от общего рабочего времени.



Характеристики насоса Wilo-EasyStar

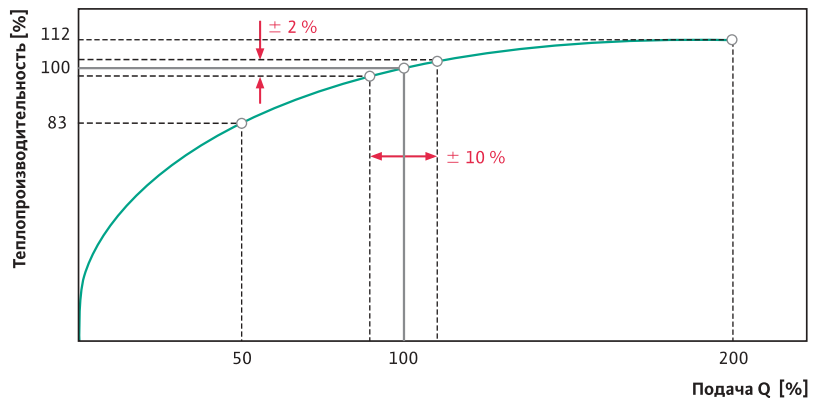


Результаты примерных расчетов параметров насоса

Допустим, сведения о характеристиках трубопроводной сети отсутствуют. В этом случае определить потребность здания в тепле можно только путем примерных расчетов. Однако при этом возникает вопрос о возможных последствиях. На рисунке справа представлена типичная характеристика теплопроизводительности для комнатного радиатора отопления.

На этом графике видны следующие зависимости: при уменьшении подачи (Q) на 10 % теплопроизводительность радиатора снижается всего на 2 %. То же самое происходит при увеличении подачи (Q) на 10 %. В этом случае отдача тепловой энергии радиатором также увеличивается всего на 2 %. Даже при удвоении подачи теплопроизводительность повышается всего на каких-то 12 %!

Рабочий график радиатора отопления



Т.е. абсолютно неверным решением будет использовать насос большей мощности, чем это необходимо, так сказать, для увеличения "запаса прочности".

Пример рабочего графика радиатора отопления 90/70 °С, температура в помещении 20 °С

Даже использование существенно меньшего по мощности насоса имело бы сравнительно меньшие последствия: при подаче 50 % радиатор отопления может отдавать в помещение прим. 83 % тепловой энергии.

Программа подбора насосного оборудования









Благодаря программам подбора насосного оборудования, например, Wilo-Select можно получить полную и эффективную помощь при выборе насоса. Эти программы содержат всю необходимую информацию для решения целого ряда задач — от простых расчетов до проектирования систем с использованием насосов и разработки соответствующей документации.

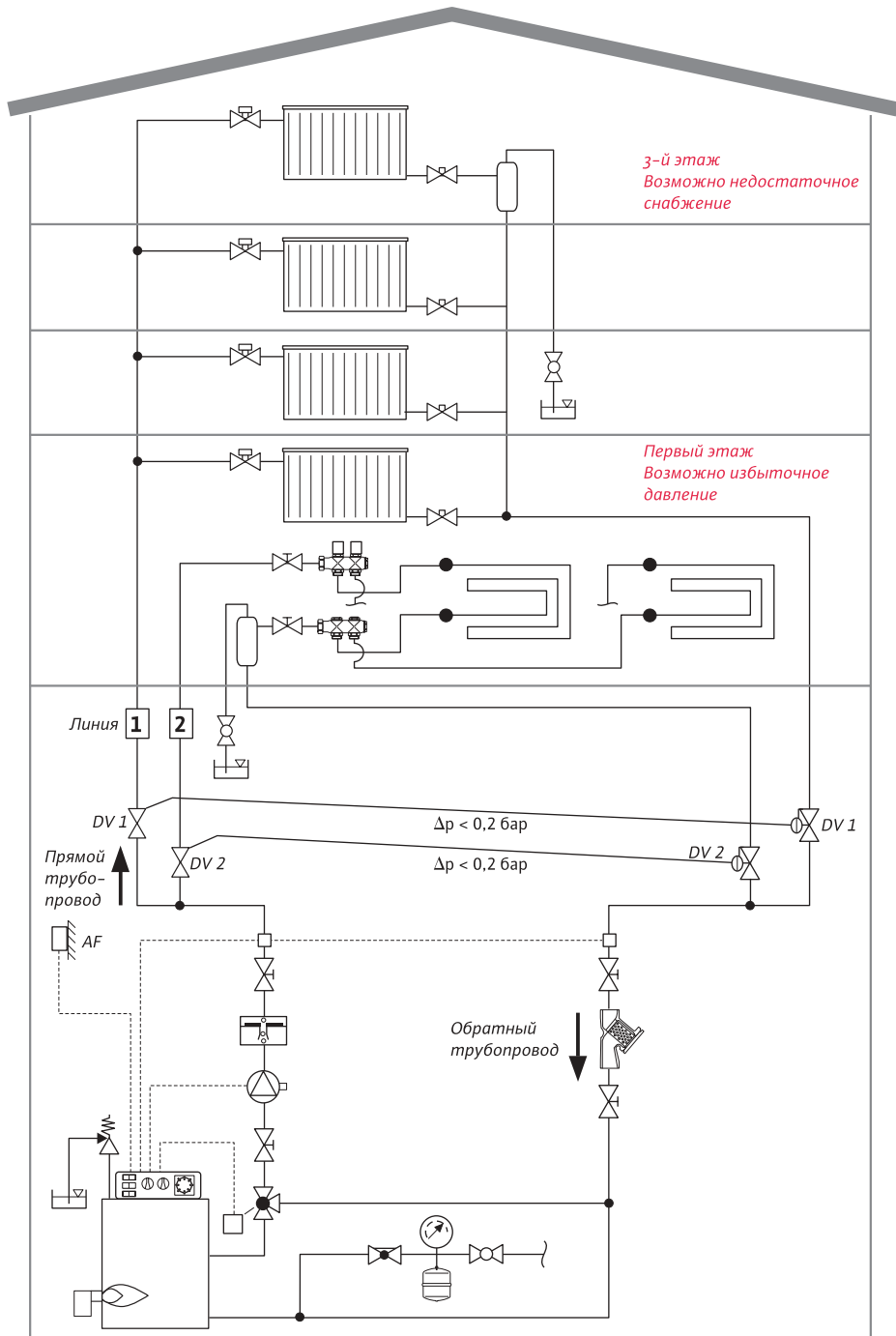
Программа Wilo-Select Classic предназначена для планирования с использованием насосной техники (насосы, системы с использованием насосов и т. д.). С ее помощью можно решать следующие задачи, возникающие в процессе практической работы:

- выполнение расчетов
- проектирование
- поиск продукции
- подбор насосов
- составление документации
- определение затрат на электроэнергию и амортизацию
- определение затрат за весь срок службы
- экспорт данных в Acrobat PDF, DXF, GAEB, Datanorm, VDMA, VDI, CEF
- автоматическое обновление через Интернет



Схематическое представление системы отопления с гидравлической балансировкой

-  Воздушный резервуар в самой высокой точке линии
-  Клапан KFE
-  Термостатический вентиль (TV)
-  Запорный клапан
-  Запорная задвижка
-  Электропривод
-  Возвратный блок
-  Регулятор перепада давления (DV)
-  Регулируемый циркуляционный насос
-  Гравитационный тормоз (SB)
-  3-ходовой смеситель
-  Фильтр
-  Расширительный мембранный бак с соединением KV и клапаном KFE
-  Предохранительный клапан
-  Дренаж



Обязательным условием эффективной работы насоса является гидравлическая балансировка.

Гидравлические системы от "А" до "Я"

Чтобы обеспечить оптимальное распределение тепла при максимально низком уровне шума, необходимо выполнить гидравлическую балансировку.

Кроме этого, гидравлическая балансировка может предотвратить избыточное или недостаточное снабжение потребителей.

Номинальная подача, предусмотренная для снабжения отдельных ветвей, реализуется за счет насоса, встроенного в трубопроводную сеть. Однако потребителям (например радиаторам отопления) требуется только часть этой мощности, которая зависит от размеров и мощности самого потребителя, а также положения термостатических и регулирующих вентилей.

Чтобы обеспечить каждого отдельного потребителя необходимой подачей, можно использовать регуляторы перепада давления, регулирующие вентили ветвей, термостатические и регулирующие вентили с предварительно заданным положением или регулируемые резьбовые муфты обратного трубопровода.

На вентилях и регуляторах можно выставить соответствующие положения для потребителей в соответствии с указаниями производителя (расчетный перепад давления от 40 до 140 мбар). Кроме этого, следует предусмотреть защиту потребителей от слишком высокого напора насоса. Например, максимальный напор насоса перед термостатическими вентилями не должен превышать 2 м. В случае превышения этого значения в связи с особенностями системы следует установить на восходящих ветвях регуляторы перепада давления, которые будут поддерживать напор в пределах допустимого.

См. главу "Практический пример" на с. 42

Регулирование циркуляционных насосов с электронным управлением

Современные циркуляционные насосы с электронным регулированием частоты вращения предлагают очень простой способ установления требуемого напора в малоизвестной системе:

- Необходимым условием является тщательная балансировка ветвей трубопровода и удаление воздуха из системы. Все регулирующие вентили должны быть открыты.
- Напор устанавливается с помощью специального регулятора со шкалой или без (в зависимости от производителя), расположенного на электронном блоке насоса. При установке напора рекомендуется начинать с самых низких значений. Кроме этого, у самого дальнего во всей системе отопления радиатора следует поставить помощника с радиотелефоном.

- После первого сообщения о том, что горячая вода не достигает этой дальней точки, можно начать постепенно увеличивать напор на регуляторе. При этом следует принимать во внимание инерционность системы отопления.
- Как только горячая вода начнет поступать в самый дальний радиатор, процесс регулирования напора завершен.

Системы с несколькими насосами

Во всех ранее рассмотренных вариантах речь шла о системе с одним центробежным насосом. Однако на практике часто возникают ситуации, в которых один одинарный насос просто не может удовлетворить всем предъявляемым к нему требованиям.

В таких случаях используют два и более насосов. В зависимости от назначения насосы монтируются по последовательной или параллельной схеме.

Однако, прежде чем перейти к обсуждению отдельных функций, следует указать на одну принципиальную, хотя и часто встречающуюся ошибку. Так, абсолютно неверно утверждение, что, как правило, два одинаковых насоса, работающие по последовательной схеме, обеспечивают двойной напор, а два одинаковых насоса, работающих по параллельной схеме, — двойную подачу.

Хотя теоретически это возможно, однако практически едва ли выполнимо в связи с особенностями конструкции и функционирования систем.

Последовательное включение насосов

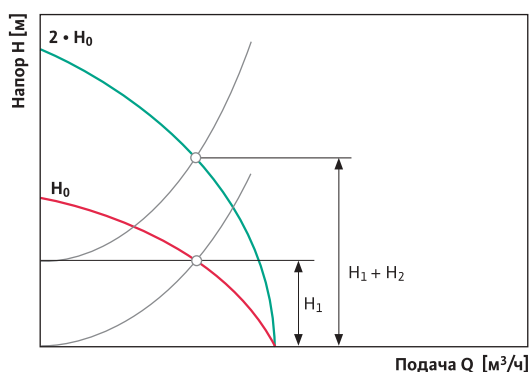
При монтаже двух насосов по последовательной схеме (друг за другом) суммируются напоры при одинаковой подаче. При этом напор при нулевой подаче от двух насосов одинаковой мощности удваивается.

Если взять другую крайнюю точку, то есть точку, при которой подача осуществляется безнапорно, то в ней два насоса не могут обеспечить большую подачу, чем один насос.



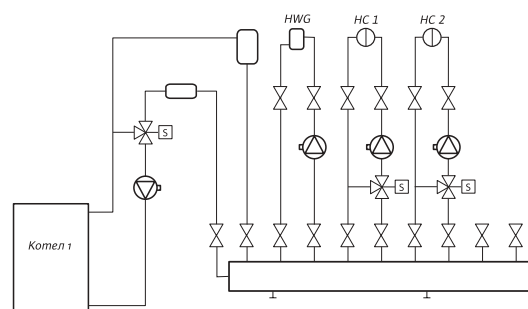
Последовательное включение двух насосов, установленных в одном корпусе и имеющих одинаковую мощность – значения напора суммируются при одинаковой подаче

Характеристики насосов при последовательном включении



В связи с особенностями регулирования в больших системах отопления часто используются несколько нагревательных контуров. Иногда устанавливаются даже несколько котлов.

Пример системы с несколькими нагревательными контурами



Насосы для системы подогрева воды (WWB) и нагревательных контуров HC 1 и HC 2 работают независимо друг от друга. Циркуляционные насосы предназначены только для преодоления возникающих в системе сопротивлений. Каждый из этих трех насосов последовательно подключен к циркуляционному насосу котла (КР). В задачи последнего входит преодоление сопротивления, возникающего уже в контуре котла.

Все предшествующие теоретические рассуждения основаны на том, что насосы имеют одинаковую мощность. Однако, как это видно из представленной схемы, насосы могут иметь различные мощности.

Такой вариант монтажа может быть чрезвычайно опасен в случае, если мощность отдельных насосов не была принята в рассмотрение. При создании циркуляционным насосом котла слишком высокого напора один или все распределительные насосы получают огромное давление на всасывающем патрубке. В этом случае они начинают работать уже не как насосы, а как турбины (по принципу генератора). В результате этого в течение короткого времени возникают различные функциональные нарушения и повреждения насосов. (Проблема гидравлической развязки в рамках данного обсуждения не рассматривается.)

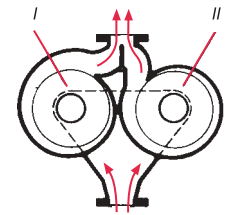
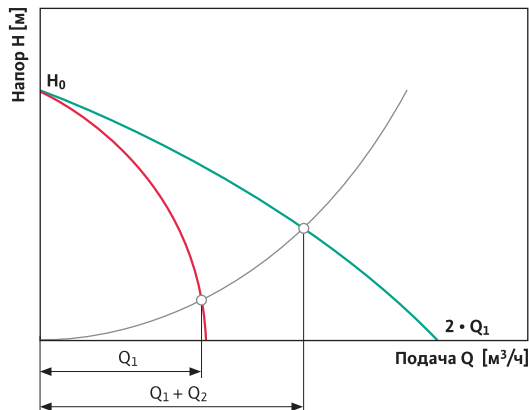
Параллельное включение насосов

При монтаже двух насосов по параллельной схеме (параллельно друг другу) суммируются подачи при одинаковом напоре. При этом максимальная подача от двух насосов одинаковой мощности удваивается.

Ранее уже указывалось на то, что эта точка характеристики насоса является теоретическим предельным значением.

Если взять другую крайнюю точку, то есть точку, при которой подача равна нулю, то в ней два параллельно работающих насоса не могут обеспечить больший напор, чем один насос.

Характеристики насосов при параллельном включении



В работе оба насоса

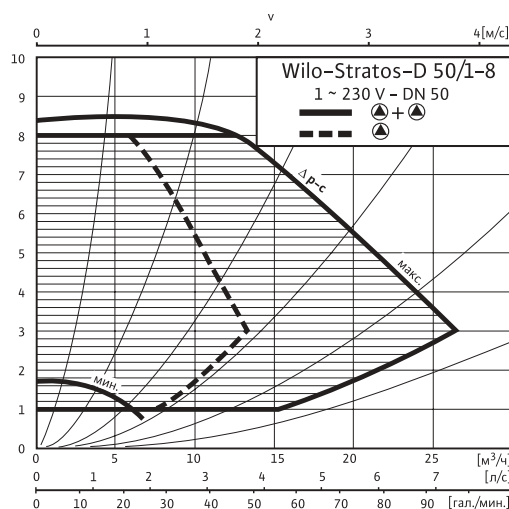
Параллельное включение двух насосов одинаковой мощности

Когда потребление тепловой энергии достигает максимума, насосы I и II начинают работать по параллельной схеме. Необходимые для этого приборы управления встроены в съемные модули или электронный блок с соответствующими приспособлениями.

Каждый из двух объединенных в сдвоенный насос одинарных насосов имеет несколько ступеней переключения, что дает широкий спектр регулирования параметров насосов в зависимости от отопительной нагрузки.

Это отражает следующая характеристика. Пунктирной линией обозначена характеристика одного из двух насосов, работающего в индивидуальном режиме, а жирной черной линией — общая характеристика насосов, работающих в режиме основной/пиковый.

Характеристика насоса Wilo-Stratos D



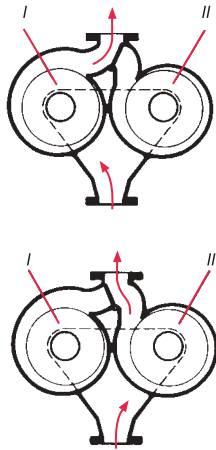
Параллельное включение двух насосов одинаковой мощности — значение подачи суммируется при одинаковом напоре

При отказе одного из насосов подача, тем не менее, продолжает поддерживаться на уровне более 50 %. В соответствии с рабочим графиком радиатора отопления это означает все те же 83 % тепловой энергии, которые может отдавать радиатор.

См. главу "Последствия примерных расчетов параметров насоса" на с. 43

Режим: основной/резервный насосы

Назначение систем отопления заключается в том, чтобы обогреть жилые помещения в холодное время года. В связи с этим рекомендуется предусмотреть в каждом нагревательном контуре по одному резервному насосу на случай отказа основного насоса. В первую очередь это относится к многоквартирным домам, больницам и другим общественным учреждениям.



В работе насос I или насос II

С другой стороны, использование второго насоса влечет за собой — помимо необходимой дополнительной арматуры и приборов управления — довольно существенные расходы на сам монтаж. В качестве компромисса производители насосов предлагают сдвоенные насосы, у которых два рабочих колеса с приводными моторами объединены в одном корпусе.

В резервном режиме оба насоса (I и II) работают по очереди в соответствии с установленным графиком (например, по 24 часа). В то время, как один насос работает, другой стоит. При этом отток перекачиваемой жидкости через неработающий насос предотвращается встроенным переключающим клапаном (входит в серийную комплектацию).

Как уже указывалось в начале данного раздела, в случае отказа одного из двух насосов система автоматически переключается на работоспособный насос.

Режим основной/пиковый насосы

В системах, для которых характерна большая подача, например, в больницах с 20 зданиями и одной котельной, часто используются несколько одинарных насосов для частичной нагрузки.

В следующем примере мощные насосы с мокрым ротором и встроенным электронным блоком управления установлены параллельно друг другу. В зависимости от потребностей такая система для пиковых нагрузок может состоять из двух и более насосов одинаковой мощности.

Работающая в сочетании с датчиком сигналов система управления поддерживает перепад давления насоса на постоянном уровне ($\Delta p-c$).

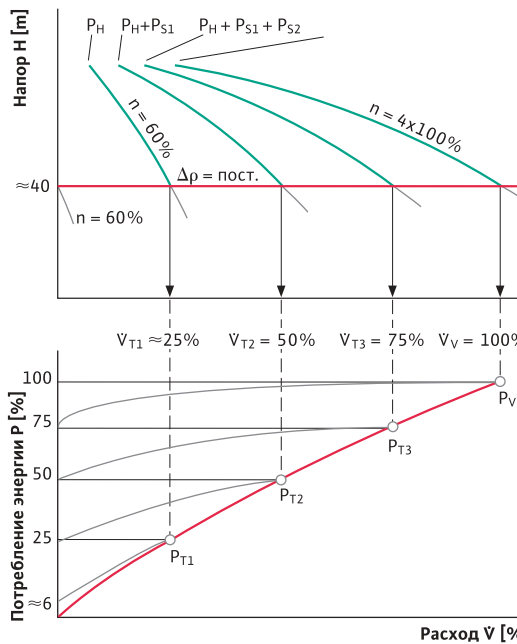
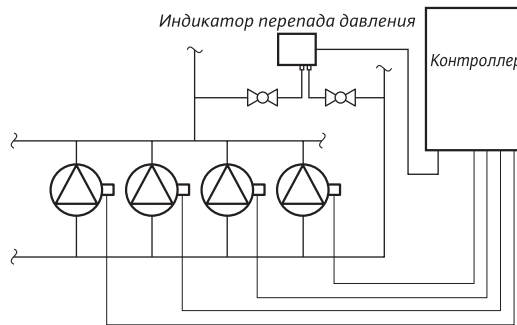
При этом совершенно неважно, какие объемы перекачиваемой жидкости проходят через термостатические вентили на радиаторах отопления и какие из четырех насосов работают в данный момент времени.

Если в такого рода системе выполняется гидравлическая балансировка, эти схемы используются также для анализа снабжения самой дальней точки с целью его надлежащего обеспечения. При этом датчик сигналов устанавливается в самой плохо снабжаемой точке системы. Сигналы управления, генерируемые датчиком сигналов (о чем говорит само название датчика), передаются на блок управления, который корректирует их в зависимости от инерционности и других характеристик системы. После этого блок управления соответствующим образом активизирует подключенные насосы, например, через встроенную электронную схему.

В нашем примере управление всей системой осуществляется следующим образом: Регулирование насоса основной нагрузки, или основного насоса P_H со встроенным электронным блоком осуществляется бесступенчато в диапазоне между максимальной ($n = 100\%$) и минимальной частотой вращения ($n = 40\%$) в зависимости от сигнала датчика перепада давления DDG. В результате этого подача при частичной нагрузке плавно изменяется в диапазоне $Q_{T1} \leq 25\%$. Если возникает необходимость в увеличении подачи ($Q_T > 25\%$), подключается насос пиковой нагрузки (также со встроенным электронным блоком P_{S1}) с частотой вращения. Основной насос P_H продолжает бесступенчато регулироваться, что в свою очередь влияет на общую подачу, которая аналогичным образом регулируется в диапазоне между 25% и 50% в зависимости от потребности.

Этот процесс повторяется при подключении насосов для частичной нагрузки со встроенной электроникой P_{S2} и P_{S3} , каждый раз с макс. частотой вращения. Максимальная потребность в тепле всей больницы покрывается тогда, когда все четыре насоса работают с максимальной мощностью — в этом случае они обеспечивают подачу при полной нагрузке \dot{V}_V . Аналогичным образом, при уменьшении потребления тепла насосы для пиковых нагрузок со встроенной электроникой $P_{S3} - P_{S1}$ снова отключаются.

Многонасосная система с бесступенчатым регулированием



- Обозначения:**
 P_H = Основной насос
 P_S = Дополнительный насос для пиковых нагрузок 1–3
 \dot{V}_V = Подача при полной нагрузке
 \dot{V}_T = Подача при частичной нагрузке
 P_V = Мощность при полной нагрузке
 P_T = Мощность при частичной нагрузке

Чтобы достичь максимальной равномерности в распределении рабочего времени между всеми циркуляционными насосами, функцию регулируемого основного насоса каждый день поочередно выполняют различные насосы.

Одного взгляда на самый нижний график достаточно, чтобы понять, какой большой экономии электроэнергии можно добиться в зависимости от типа насоса, в том числе за счет потребляемой мощности.

Для больших систем низкие эксплуатационные расходы в течение многих лет гораздо важнее, чем небольшие инвестиционные затраты. Четыре небольших насоса со встроенной электроникой и система управления могут стоить больше, чем один большой насос без системы управления. Однако, если взять, например, период эксплуатации длиной в десять лет, то затраты на систему управления и насосы со встроенной электроникой с лихвой окупятся за счет сэкономленной электроэнергии. В качестве дополнительного преимущества можно назвать оптимизацию работы всей системы в сочетании с низким уровнем шума и высокой экономичностью благодаря улучшенному снабжению потребителей. А это может означать даже значительную экономию энергии.

Заключение

Насосная Азбука — содержит большой объем информации — начиная с ранних разработок и самых простых решений и заканчивая сложными техническими продуктами — и призвана дать общее представление о том, где и как могут и должны использоваться насосы.

Она наглядно демонстрирует комплексные связи, возникающие в процессе эксплуатации насосов, и объясняет, как можно оптимизировать эксплуатацию с помощью современных электронных средств управления.

По сравнению со всей системой отопления здания циркуляционный насос является одним из самых маленьких компонентов системы с точки зрения размеров и первоначальной стоимости. Однако именно он обеспечивает надлежащее функционирование всех остальных компонентов. Если провести сравнение, например, с человеческим организмом, то можно однозначно сказать: насос — это сердце системы!

Проверьте ваши знания

Вы можете проверить свои знания, полученные благодаря "Насосной азбуке", с помощью следующего теста.

История насосной техники

Вопросы по темам:

- Водоснабжение
- Отведение сточных вод
- Отопление



Вопрос 1:

- Насосы были известны уже в древние времена (1)
- Насосы были изобретены специально для систем отопления (2)
- Насосы могут использоваться только для перекачивания воды (3)

Вопрос 2:

- Лопастное колесо изобрел Архимед (1)
- Центробежный насос изобрели в Китае (2)
- Угол наклона архимедова винта определяет подачу (3)

Вопрос 3:

- Первые канализационные коллекторы были построены в 1856 г. (1)
- Cloaca Maxima существовала в Древнем Риме (2)
- Все стоки должны быть оснащены установками водоотведения (3)

Вопрос 4:

- Центральное отопление было известно уже древним германцам (1)
- Первые системы напольного отопления построили древние римляне (2)
- В 17 веке дома отапливались с помощью паровых машин (3)

Вопрос 5:

- В конвективных системах отопления используются тяжелые, мощные насосы (1)
- Рабочая температура систем парового отопления составляет от 90 °C до 100 °C (2)
- Низкотемпературные системы отопления появились только благодаря циркуляционным насосам (3)

Вопрос 6:

- Для чего использовались насосы уже сотни лет назад?
- для подачи воды (1)
 - для систем парового отопления (2)
 - для конвективных систем отопления (3)

Вопрос 7:

- Запатентованный в 1929 г. циркуляционный ускоритель был:
- усовершенствованным вариантом широко используемого насоса для систем отопления (1)
 - первым насосом, встраиваемым в трубопровод системы отопления (2)

Вопрос 8:

- С какой частью человеческого тела можно сравнить циркуляционные насосы для систем отопления?
- с руками (1)
 - с сердцем (2)
 - с головой (3)

Вопрос 9:

- Укажите преимущества циркуляционных насосов
- низкие расходы на монтаж (1)
 - уменьшение эксплуатационных расходов (2)
 - гибкая система управления (3)
 - верны все предыдущие высказывания (4)

Вопрос 9: № 4
Вопрос 8: № 2
Вопрос 7: № 2
Вопрос 6: № 1
Вопрос 5: № 3
Вопрос 4: № 2
Вопрос 3: № 3
Вопрос 2: № 3
Вопрос 1: № 1
Ответы:

Вода как средство транспортировки



Вопросы по темам:

- Теплоемкость
- Увеличение и уменьшение объема
- Давление
- Кавитация

Вопрос 1:

При каком условии вода начинает расширяться?

- при нагревании выше 0 °С (1)
- при охлаждении ниже 0 °С (2)
- при нагревании или охлаждении от + 4 °С (3)

Вопрос 2:

Какие из следующих понятий эквивалентны друг другу?

- работа, мощность и КПД (1)
- работа, энергия и количество тепла (2)
- работа, сила и энергия (3)

Вопрос 3:

Что происходит с водой при нагревании?

- плотность воды уменьшается (1)
- плотность воды увеличивается (2)
- плотность остается постоянной (3)

Вопрос 4:

Что происходит с температурой воды при достижении точки кипения?

- продолжает повышаться (1)
- останавливается на точке кипения (2)
- уменьшается (3)

Вопрос 5:

Каким образом можно избежать кавитации?

- использованием насоса с более низким кавитационным запасом (1)
- понижением статического давления (2)
- повышением давления парообразования (3)

Вопрос 6:

От чего зависит количество тепла переносимого жидкостью в системах отопления?

- от теплоемкости (1)
- от массы перемещающейся воды (2)
- от разности температур в прямом и обратном трубопроводах (3)
- от всех трех вышеназванных факторов (4)

Вопрос 7:

При каких условиях конвективные системы отопления работают лучше?

- при низком сопротивлении в трубопроводах (1)
- при высоком сопротивлении в трубопроводах (2)

Вопрос 8:

Какую функцию выполняет предохранительный клапан?

- служит для вентиляции и удаления воздуха из системы (1)
- предохраняет от избыточного давления в системе (2)
- совершенно бесполезен при использовании электронных насосов (3)

Вопрос 8: № 2
 Вопрос 7: № 1
 Вопрос 6: № 4
 Вопрос 5: № 1
 Вопрос 4: № 2
 Вопрос 3: № 1
 Вопрос 2: № 2
 Вопрос 1: № 3
 Ответы:

Конструкции центробежных насосов

Вопросы по темам:

- Само- и нормальновсасывающие насосы
- Насосы с мокрым ротором
- Насосы с сухим ротором



Вопрос 1:

Какие из этих высказываний в отношении высоты всасывания верны?

- зависит от давления воздуха (1)
- теоретически составляет 10,33 м (2)
- влияет на напор (3)
- верны все три предыдущих высказывания (4)

Вопрос 2:

Какие из этих высказываний в отношении самовсасывающих насосов верны?

- они способны удалять воздух из всасывающей линии только при определенных условиях (1)
- всасывающая линия должна быть максимально короткой (2)
- они должны быть заполнены водой перед вводом в эксплуатацию (3)
- верны все приведенные выше высказывания (4)

Вопрос 3:

Какую функцию выполняет вода, находящаяся в разделительном стакане насосов с мокрым ротором:

- служит для охлаждения и смазывания (1)
- поддерживает напор (2)
- не несет никакой функции (3)

Вопрос 4:

Какие преимущества имеют насосы с мокрым ротором?

- высокий КПД (1)
- высокая температура в нагревательных контурах (2)
- малошумный и исключены утечки (3)

Вопрос 5:

Какое монтажное положение рекомендуется для насоса с сухим ротором?

- с вертикальным расположением вала (1)
- с горизонтальным расположением вала (2)
- монтажное положение может быть любым, за исключением положения "мотором вниз". (3)

Вопрос 6:

В каких случаях используются насосы с сухим ротором?

- при небольшой подаче (1)
- при большой подаче (2)
- при малом напоре (3)

Вопрос 7:

КПД насоса равен:

- отношению полезной мощности к максимальной потребляемой мощности (1)
- отношению потребляемой мощности к полезной мощности (2)
- отношению полезной мощности и потребляемой мощности (3)

Вопрос 8:

В какой части характеристики наблюдается максимальный КПД центробежного насоса?

- в левой трети (1)
- в средней трети (2)
- в правой трети (3)

Вопрос 9:

Какое из этих высказываний в отношении скользящих торцевых уплотнений верно?

- выполнены из синтетических волокон или пеньки (1)
- представляют собой подшипники (2)
- используются в насосах с сухим ротором (3)

Вопрос 9: № 3
Вопрос 8: № 2
Вопрос 7: № 3
Вопрос 6: № 2
Вопрос 5: № 3
Вопрос 4: № 3
Вопрос 3: № 1
Вопрос 2: № 4
Вопрос 1: № 4
Ответы:

Характеристики насосов и систем



Вопросы по темам:

- Характеристики насосов
- Характеристики системы/характеристики трубопроводной сети
- Рабочая точка

Вопрос 1:

Какое из этих высказываний в отношении электрической энергии привода насоса верно?

- преобразуется в высокое давление (1)
- преобразуется в повышение давления и скорости (2)
- получается в результате преобразования гидравлической энергии (3)

Вопрос 2:

Какие параметры представляются на осях характеристик насоса?

- вертикальная ось — напор, а горизонтальная — подача (1)
- вертикальная ось — подача, а горизонтальная — напор (2)
- вертикальная ось — энергия, а горизонтальная — среда (3)

Вопрос 3:

Что отражает характеристика системы?

- увеличение сопротивления при увеличении подачи (1)
- увеличение подачи при изменении давления (2)
- изменение подачи при изменении скорости воды (3)

Вопрос 4:

Как изменяется сопротивление трения в трубопроводе?

- линейно при изменении подачи (1)
- в квадрате при изменении подачи (2)
- в кубе при изменении подачи (3)

Вопрос 5:

Что следует учитывать при расчете напора циркуляционного насоса системы отопления?

- высоту здания (1)
- сопротивление трубопроводной сети (2)
- оба вышеназванных фактора (3)

Вопрос 6:

Что следует учитывать при расчете подачи циркуляционного насоса системы отопления?

- среднюю температуру наружного воздуха (1)
- требуемую температуру в помещении (2)
- требуемое потребление тепла (3)

Ответь:
 Вопрос 1: № 2
 Вопрос 2: № 1
 Вопрос 3: № 1
 Вопрос 4: № 2
 Вопрос 5: № 2
 Вопрос 6: № 3

Регулирование параметров насоса в зависимости от отопительной нагрузки

Вопросы по темам:

- Сезонные изменения температуры
- Регулирование частоты вращения насоса
- Бесступенчатое регулирование частоты вращения
- Способы регулирования



Вопрос 1:

Как изменяется отопительная нагрузка здания?

- всегда находится на одинаковом уровне (1)
- изменяется в зависимости от времени года (2)
- увеличивается из года в год (3)

Вопрос 2:

Как следует регулировать температуру при изменении потребления тепла?

- с помощью термостатических вентилей (1)
- с помощью окон ("окно открыто/окно закрыто") (2)
- путем регулирования давления в системе (3)

Вопрос 3:

Для чего требуется изменение частоты вращения насоса?

- для обеспечения требуемой подачи (1)
- для снятия нагрузки с перепускного клапана (2)
- для корректировки неверно рассчитанных параметров насоса (3)

Вопрос 4:

Как осуществляется изменение частоты вращения насоса?

- всегда в ручном режиме (1)
- всегда в автоматическом режиме (2)
- в зависимости от оснащения либо в ручном, либо в автоматическом режиме (3)

Вопрос 5:

Какое из этих высказываний в отношении бесступенчатого регулирования частоты вращения верно?

- является более эффективным, чем ступенчатое (1)
- является менее эффективным, чем ступенчатое (2)
- дает тот же результат, что и ступенчатое (3)

Вопрос 6:

Что можно регулировать с помощью циркуляционных насосов с электронным управлением?

- потребление тепла (1)
- срок службы (2)
- напор (3)

Вопрос 7:

Какое из этих высказываний в отношении способа регулирования " Δp -с = постоянный перепад давления" верно?

- подача увеличивается за счет постоянной частоты вращения (1)
- частота вращения изменяется в соответствии с необходимой подачей (2)
- давление в расширительном баке в закрытой системе всегда постоянно (3)

Вопрос 8:

Какое из этих высказываний в отношении рабочего режима "Автоматическое снижение частоты вращения (автопилот)" верно?

- задается специальным часовым выключателем (1)
- зависит от температуры в помещении (2)
- может использоваться только в системах отопления, в которых была проведена гидравлическая балансировка (3)

Вопрос 9:

Какое из этих высказываний в отношении новейшей насосной технологии ЕСМ (высокоэффективные насосы) верно?

- ротор состоит из постоянного магнита (1)
- экономит до 80 % эксплуатационных расходов по сравнению с обычными насосами (2)
- вращение ротора обеспечивается за счет электронной системы связи (преобразователь частоты) (3)
- высказывания 1–3 свидетельствуют о том, что в настоящее время это самый экономичный насос с мокрым ротором (4)

Вопрос 9: № 4
Вопрос 8: № 3
Вопрос 7: № 2
Вопрос 6: № 3
Вопрос 5: № 1
Вопрос 4: № 3
Вопрос 3: № 1
Вопрос 2: № 1
Вопрос 1: № 2
Ответы:

Примерный расчет параметров насоса



Вопросы по темам:

- Подача насоса
- Напор насоса
- Расчет параметров насоса
- Гидравлическая балансировка

Вопрос 1:

Чем определяется выбор циркуляционного насоса для системы отопления?

- заданным условным проходом трубопроводов (1)
- ценой (2)
- требуемой тепловой нагрузкой (3)

Вопрос 2:

Что происходит при увеличении подачи на 100 %?

- теплопроизводительность уменьшается прим. на 2 % (1)
- теплопроизводительность увеличивается прим. на 12 % (2)
- теплопроизводительность остается на прежнем уровне (3)

Вопрос 3:

Что следует делать в случае возникновения сомнений при выборе насоса для системы отопления?

- выбрать насос меньшей мощности (1)
- выбрать насос большей мощности (2)
- выбрать более дешевый насос (3)

Вопрос 4:

Исходя из чего рассчитывается напор насосов в системах водоснабжения?

- исходя из геодезической высоты (1)
- исходя из динамического давления (2)
- исходя из сопротивления в трубопроводах (3)
- исходя из суммы величин 1–3 (4)

Вопрос 5:

Исходя из чего рассчитывается напор насосов для системы отопления?

- исходя из геодезической высоты (1)
- исходя из динамического давления (2)
- исходя из сопротивления в трубопроводах (3)
- исходя из суммы величин 1–3 (4)

Вопрос 6:

Для чего проводится балансировка систем отопления?

- для обеспечения оптимального распределения тепла (1)
- для снижения уровня шума во время работы системы (2)
- для защиты потребителей от недостаточного или избыточного теплоснабжения (3)
- верны и важны все три предыдущие высказывания (4)

Вопрос 7:

Как правильно отрегулировать электронный насос, если требуемый напор неизвестен?

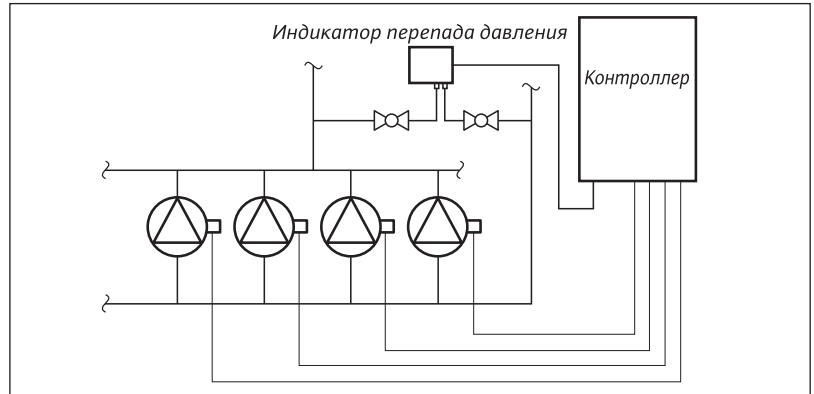
- пригласить помощника (1)
- полностью удалить воздух и провести гидравлическую балансировку системы (2)
- задать на насосе минимальное значение напора (3)
- добиваться, чтобы самый дальний радиатор отопления получал достаточную тепловую энергию (4)
- регулирование выполнено правильно, если соблюдены все четыре условия (5)

Ответы:
 Вопрос 1: 3
 Вопрос 2: 1
 Вопрос 3: 2
 Вопрос 4: 4
 Вопрос 5: 4
 Вопрос 6: 4
 Вопрос 7: 5

Системы с несколькими насосами

Вопросы по темам:

- Последовательное включение насосов
- Параллельное включение насосов
- Работа в режиме пиковых нагрузок при использовании нескольких насосов



Вопрос 1:

Что происходит при последовательном включении двух насосов?

- удваивается напор (1)
- удваивается подача (2)
- суммарная характеристика зависит от вида характеристик системы и насосов (3)

Вопрос 2:

Какая опасность существует при последовательном включении насосов?

- работа насоса в режиме генератора (1)
- взаимная нейтрализация выходной мощности насосов (2)
- недостаточное снабжение системы (3)

Вопрос 3:

Что происходит при параллельном включении двух насосов?

- удваивается напор (1)
- удваивается подача (2)
- суммарная характеристика зависит от характеристик системы и насосов (3)

Вопрос 4:

В каких режимах возможна эксплуатация сдвоенных насосов?

- преимущественно в резервном режиме (1)
- преимущественно в пиковом режиме (2)
- в резервном и пиковом режимах (3)

Вопрос 5:

Что дает разделение требуемой выходной мощности на несколько насосов в больших системах?

- уменьшение эксплуатационных расходов (1)
- продление срока службы насосов (2)
- верны оба предыдущих высказывания (3)

Вопрос 6:

Как называется способ регулирования, при котором датчик сигналов установлен в системе на значительном удалении от блока управления?

- регулирование по центру тяжести (1)
- сложное регулирование (2)
- регулирование по самой дальней точке (3)

Вопрос 7:

Что следует учитывать при параллельном включении насосов через блок управления?

- насосы должны иметь одинаковую мощность (1)
- это должны быть тихоходные насосы (2)
- это должны быть быстроходные насосы (3)

Ответы:
 Вопрос 1: №3
 Вопрос 2: №3
 Вопрос 3: №2
 Вопрос 4: №3
 Вопрос 5: №3
 Вопрос 6: №3
 Вопрос 7: №3

Единицы измерения (только для центробежных насосов)

Физическая величина	Символ	Размерности		Внесистемные единицы	Рекоменд. единицы	Примечания	
		СИ (Sistem International)	Другие единицы				
Длина	l	м	метр	км, дм, см мм, мкм		м	Основная единица
Объем	V	м ³		дм ³ , см ³ , мм ³ , литр (1 л = 1 дм ³)	куб.м, куб.дм, ...	м ³	
Подача	Q	м ³ /с		м ³ /ч, л/с		л/с и м ³ /с	
Объемный расход	V						
Время	t	с	секунда	с, мс, мкс, нс, ... мин, ч, д		с	Основная единица
Частота вращения	n	1/s		об/мин (мин ⁻¹)		об/мин (мин ⁻¹)	
Масса	m	кг	килограмм	г, мг, мкг, тонна, (1 т = 1000 кг)	фунт, центнер	кг	Основная единица
Плотность	ρ	кг/м ³		кг/дм ³		кг/дм ³ и кг/м ³	Термин "удельный вес" не должен больше использоваться
Сила	F	N	ньютон (= кг м/с ²)	кН, мН, мкН, ...	кгс, тс, ...	Н	1 кгс = 9,81 Н. Сила тяжести — это произведение массы m и ускорения свободного падения g
Давление	P	Па	паскаль (= Н/м ²)	бар (1 бар = 10 ⁵ Па)	кгс/см ² , атм., м, мм вод.ст., мм рт. ст. (торр).	бар	1 атм. = 0,981 бар = 9,81 · 10 ⁴ Па 1 мм рт.ст. = 1,333 мбар 1 мм вод.ст. = 0,098 мбар
Энергия, Работа, Количество тепла	W, Q	J	джоуль (= Нм = Вт*с)	кДж, Вт*с, кВт*ч, ... 1 кВт*ч = 3600 кДж	кгс м, ккал, кал ед.теп.	Дж и кДж	1 кгс м = 9,81 Дж 1 ккал = 4,1868 кДж
Напор	H	м	метр		М F.I. S.	м	
Мощность	P	Вт	ватт (= Дж/с = Н м/с)	МВт, кВт,	кгс м/с, л.с.	кВт	1 кгс м/с = 9,81 Вт 1 л.с. = 736 Вт
Перепад температур	T	K	кельвин	°C	°K, градусы,	K	Основная единица