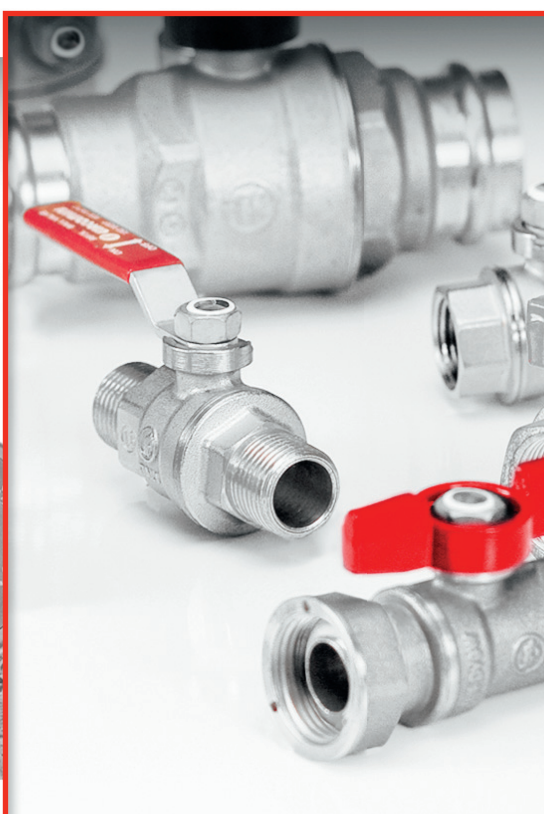


Гидравлика КОТЕЛЬНЫХ

Учебное пособие





Введение	4
1. Гидравлическая система отопления	5
2. Теплоноситель	6
3. Системы отопления с принудительной и естественной циркуляцией	9
4. Независимость колец в системе	11
5. Подбор котла	16
6. Требования к расходу воды через котел	19
7. Основные элементы котельной установки	21
8. Управление подачей тепла в зону отопления	32
9. О температуре отопительных приборов	34
10. Рекомендации по эксплуатации отопительных систем	37
Типовая гидравлическая схема котельной	38
Требования к теплогенераторам (Приложение 1)	40
Таблица перевода единиц давления (Приложение 2)	42

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании и монтаже тепловых систем важно не только правильно подобрать основное оборудование (котлы, радиаторы и т.д.), но и обеспечить необходимый режим работы, для того чтобы данное оборудование могло работать на номинальных параметрах.

Существует несколько причин, по которым режим работы может быть нарушен.

Среди основных можно выделить:

- отложение накипи, коррозию, шлам;
- гидравлическую разбалансировку;
- накопление газов в полостях;
- повреждения, вызванные замерзанием воды.

Все эти нарушения возникают вследствие взаимодействия установки с жидкостью, циркулирующей в ней.

В данном учебном пособии мы рассмотрим гидравлическую часть отопительных установок, в которых в качестве теплоносителей используется вода и антифриз, а также попробуем разобраться в сути гидравлических процессов и дать практические рекомендации, которые помогут грамотно эксплуатировать отопительные установки.

Для заметок

Для заметок

1. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ

Гидравлическая система отопления представляет собой замкнутую цепочку, состоящую из труб, отопительных приборов и котла (генератора тепла), и заполненную теплоносителем. В роли теплоносителя может выступать как вода, так и другие жидкости, предназначенные для систем отопления (антифризы).

Принцип работы такой системы отопления очень прост: при помощи насоса теплоноситель движется по системе, нагреваясь сначала в котле, а затем постепенно остывая в трубах и отопительных приборах (радиаторах), отдавая тепло и согревая таким образом помещение.

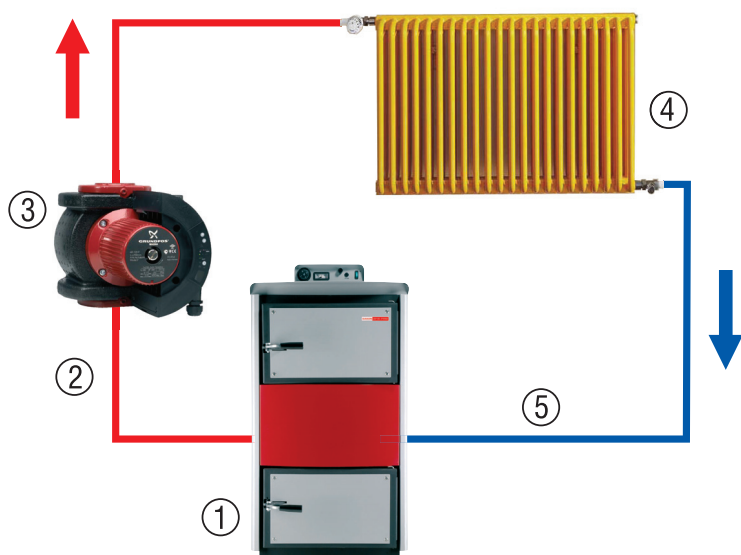


Рис. 1. Система отопления с принудительной циркуляцией

1. Котел
2. Подающая труба
3. Насос
4. Радиатор
5. Обратная труба

2. ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ

Вода и Антифриз: плюсы и минусы

Вода — дешёвый и доступный теплоноситель. Вода обладает большой удельной теплоемкостью (4,2 кДж/кг·°C) и хорошей теплопроводностью. Вода экологически безопасна, а значит, любая возможная протечка не представляет угрозы здоровью.

Качество воды в отопительной установке определяют следующие параметры:

1) степень кислотности:

- стальные установки: $9,5 < \text{pH} < 10,5$;
- установки с алюминиевыми частями: $7,5 < \text{pH} < 8,5$;
- чугунные котлы: $7,5 < \text{pH} < 10,5$.

2) жесткость < 2,0 ммоль/л.

Антифризы, по сравнению с водой, обладают рядом преимуществ:

- более низкая температура замерзания;
- присадки, обеспечивают защиту элементов системы отопления от коррозии, растворяют и выводят образовавшиеся осадки и накипь;
- при замерзании не переходят в твердое состояние, а становятся рыхлой кашеобразной массой, расширение которой значительно меньше, чем у обычного льда.

К особенностям применения антифризов можно отнести следующее. Физические свойства антифриза отличаются от свойств воды. Теплоемкость антифризов на 15–20% меньше, чем у воды; вязкость* в 2–3 раза выше; объемное расширение на 40–60% больше, теплопроводность хуже. Конечно, это усредненные показатели, все зависит от конкретной марки и производителя, но общая тенденция именно такова. Кроме этого, у разных антифризов разнятся величины теплопроводности, температуры кипения, другие характеристики.

Таким образом, системы отопления, в которых используется антифриз, отличаются от тех систем, где теплоносителем выступает вода. Для использования систем с антифризом требуется увеличить на 30–50% тепловую мощность радиаторов, на 40–60% — объем расширительного бака. Необходимо устанавливать и более мощный циркуляционный насос, увеличивать мощность котла. Так что залить вместо воды в систему антифриз — не получит-

* *Вязкость* — свойство жидкости оказывать сопротивление относительно движению (сдвигу) частиц жидкости. Характеристиками вязкости являются: динамический коэффициент вязкости μ и кинематический коэффициент вязкости ν

Для заметок

ся. Прежде чем использовать антифриз в системе, необходимо привести в соответствие с вышеизложенными требованиями все имеющееся отопительное оборудование.

Есть и еще ряд субъективных моментов в использовании антифризов. Антифризы на основе этиленгликоля, к примеру, нельзя перегревать — это ведет к термическому разложению этиленгликоля и антикоррозионных присадок. Кроме этого, нельзя допускать контакт антифриза с оцинкованными поверхностями.

Образующиеся кислоты и осадки могут негативно влиять на работу всей отопительной системы в целом. Перегретый антифриз вспенивается, в системе образуются воздушные пробки. Для предотвращения этого негативного фактора существуют специальные присадки, добавляемые в антифризы.

Нельзя забывать, что антифризы, по сравнению с водой, обладают повышенной способностью просачиваться через различные соединения. Чем больше в системе количество различных соединений, чем больше стоит различных прокладок, уплотнений, тем больше внимания надо уделять качеству сборки всех элементов системы, иначе повышается вероятность появления протечек. Причем, протечки могут появляться и не сразу, а, например, при переводе системы на более «холодный» режим работы. Физика процесса понятна: при меньшей температуре металл в местах соединений сужается и образуются микроканалы, в которые начинает просачиваться антифриз.

Изменяя соотношение концентрата и воды, можно получить жидкость с температурой замерзания от -10°C до -65°C . Обычно антифриз продается в двух модификациях: с температурой замерзания не выше -65°C и температурой замерзания не выше -30°C . При этом концентрированный вариант (рассчитанный на -65°C) может быть разбавлен водой. Для получения теплоносителя с температурой замерзания -30°C к двум частям антифриза надо добавить одну часть воды, для -20°C — смешать антифриз пополам с водой.

Некоторые виды антифризов (в основном на основе этиленгликоля) токсичны, поэтому их нельзя применять в общей системе ГВС. Пары некоторых антифризов ядовиты, и для таких теплоносителей требуются закрытые расширительные баки.

К сказанному добавим, что не все отопительные котлы могут работать с теплоносителем-антифризом. И прежде, чем приобретать котел или переводить его на антифриз, необходимо проконсультироваться у продавцов и специалистов: допустимо ли использование прибора в системе

отопления, где в качестве теплоносителя выступает антифриз.

Антифриз — достаточно дорогой теплоноситель, но стоимость антифриза, заливаемого в систему, не сопоставима с ремонтно-восстановительными работами в случае размораживания этой системы отопления.

ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ

- 1) Заливая антифриз, необходимо проверить, не выпадает ли он в осадок при смешивании с водой. Если выпадает, то лучше использовать дистиллированную воду.
- 2) Ни в коем случае не заливать антифриз в систему отопления, где используются оцинкованные трубопроводы или оцинкованные радиаторы!
- 3) Антифриз стареет, поэтому его необходимо менять с периодичностью, указанной производителем (4–5 лет), промывая систему специальными составами.
- 4) Не применять автомобильный «тосол» в системах отопления, т. к. в его составе есть добавки, не допустимые к использованию в жилых помещениях.
- 5) Применять специальные герметики для монтажа системы отопления, обеспечивающие высокую надежность соединений (например, подмотка и гель для труб).
- 6) Консультируйтесь со специалистами по поводу эксплуатации котлов в системах, где теплоносителем выступает антифриз, — там есть масса нюансов. К примеру, для проточных котлов с форсированными тепловыми режимами в теплообменниках с высокой степенью оребрения характерны кратковременные перегревы стенок теплообменника в моменты максимальных нагрузок при включении и выключении котла — и здесь надо быть предельно осторожным при выборе теплоносителя.

Другой пример: запуск системы с чугунным котлом следует производить на минимальной мощности с постепенным выходом на режим.

- 7) Стоит иметь в виду, что разбавление антифриза более чем на 50%, кроме повышения температуры замерзания, ведет и к ухудшению его антикоррозионных свойств, а также к выпадению осадка солей жесткости, растворенных в воде.

Если все же разбавление водой более чем на 50% необходимо, то в полученный раствор надо будет добавить дополнительные присадки.

Для заметок

- 8) Для разбавления антифриза рекомендуется использовать воду с жесткостью до 7 единиц. Если Вы не знаете жесткость воды, то рекомендуем предварительно смешать в нужной пропорции небольшое количество антифриза с водой в прозрачной емкости и убедиться в отсутствии осадка.
- 9) Перед заливкой антифриза в отопительную систему рекомендуется испытать работу системы на воде, произвести опрессовку системы, чтобы убедиться в отсутствии протечек, а также в отсутствии посторонних примесей.

3. СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

3.1. Система отопления с принудительной циркуляцией

Главным элементом такой системы является насос, заставляющий двигаться (циркулировать) теплоноситель. Насос должен обладать достаточной мощностью для преодоления сопротивления в системе. Если его выключить, то через некоторое время циркуляция прекратится, если не выключать — вода будет двигаться постоянно. На этом и основана возможность управления подачей тепла от котла к отопительным приборам. Насос может быть включен на полную мощность, может работать вполсилы, либо быть совсем выключен.

При монтаже бытовой системы отопления используются трехскоростные насосы с «мокрым ротором», позволяющие с помощью переключателя установить необходимую частоту вращения вала двигателя. Это дает возможность управлять системой отопления даже при отсутствии дополнительной автоматики.

Если в помещении слишком жарко, можно уменьшить частоту вращения вала насоса — расход* теплоносителя в системе уменьшится, температура отопительных приборов станет ниже. К насосу так же можно подключить термостат — в этом случае он будет автоматически включаться только тогда, когда температура в помещении опустится ниже желаемой.

Как показывает практика, для бытовых систем отопления подходят всего 2–3 типа компактных циркуляционных насосов — например, Grundfos.

* *Расход* — количество жидкости, протекающей через живое сечение потока в единицу времени. Расход может измеряться в единицах объема, веса или массы. Соответственно различают расходы: объемный, весовой и массовый

Для заметок

3.2. Система отопления с естественной циркуляцией

В такой системе насос отсутствует — его роль выполняет сила, возникающая за счет разницы плотности (веса) теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе (см. рис. 2).

Горячая вода имеет меньшую плотность, т. е. легче, чем холодная, и движется вверх по трубе (подающему стояку), а затем растекается по нескольким нисходящим трубам (стоякам), проходящим сквозь здание, к отопительным приборам сверху вниз и охлаждается, отдавая тепло. Когда вода остывает, её плотность увеличивается, она тяжелеет и возвращается к котлу по обратному трубопроводу. Циркуляция в такой системе возникает за счет разницы плотности горячего теплоносителя в подающем стояке и холодного — после остывания в приборах и обратном трубопроводе. Чем больше диаметр вертикальных стояков, тем больше побудительная сила естественной циркуляции.

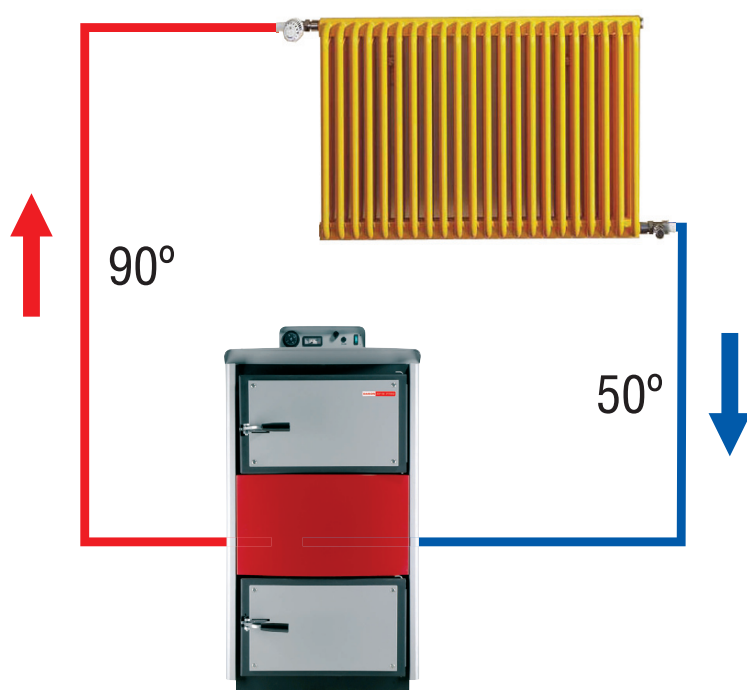


Рис. 2. Система отопления с естественной циркуляцией

Какую систему выбрать

Система с принудительной циркуляцией комфортнее, поскольку теплом в ней можно управлять. Вы можете установить нужную температуру в каждой комнате, и она будет поддерживаться автоматически. Качество такой системы выше, однако она требует наличия электричества (или того, чтобы электричество не выключалось более чем на сутки).

4. НЕЗАВИСИМОСТЬ КОЛЕЦ В СИСТЕМЕ

Для заметок

Система с естественной циркуляцией не поддается автоматическому регулированию, потребляет больше топлива и требует монтажа труб большого диаметра, стоимость которых выше, а внешний вид не вполне эстетичен. Обычно регулировать такую систему можно только вручную.

Если вас не пугает необходимость ручной регулировки и постоянный перегрев воздуха в комнатах или в вашем доме часто и долго отсутствует электричество, то система с естественной циркуляцией вам подходит. Для тех же, кто предпочитает удобство и комфорт, система с принудительной циркуляцией — как раз то, что нужно.

4. НЕЗАВИСИМОСТЬ КОЛЕЦ В СИСТЕМЕ

Для начала рассмотрим простое трубопроводное (первичное) кольцо с циркуляционным насосом (см. рис. 3). Очевидно, что если включить насос, то вся выходящая из котла вода пойдет по кольцу — в движение ее приводит циркуляционный насос, создающий разницу давлений. В подобной закрытой системе вес поднимающейся воды уравнивается весом воды, движущейся вниз. Здесь нет никакого подъема воды на высоту — только циркуляция. Циркуляционный насос работает только на преодоление сопротивления трубы, радиаторов, запорной арматуры и котла.

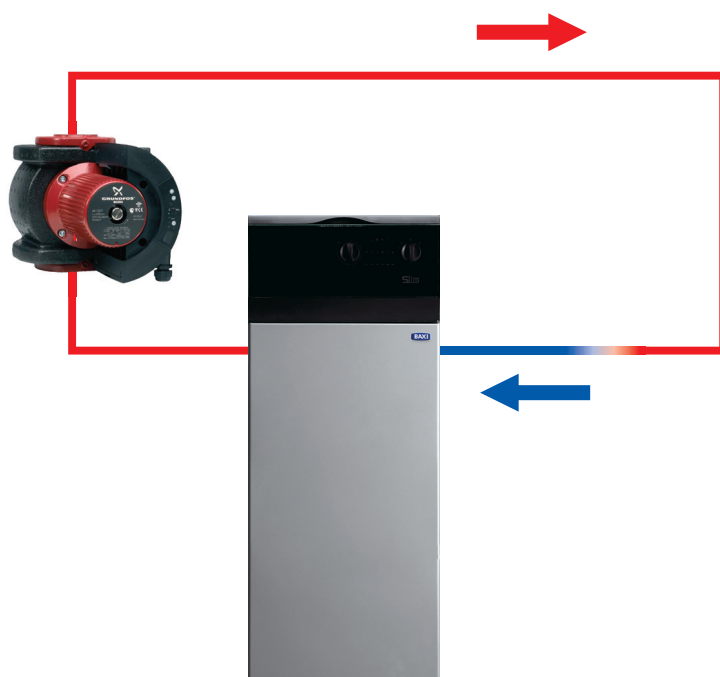


Рис. 3. Первичное кольцо с циркуляционным насосом

Присоединим вторичное кольцо со своим циркуляционным насосом к основному — первичный насос будет работать постоянно (см. рис. 4). Когда вторичный насос отключен, циркуляции воды через вторичное кольцо не будет, так как сопротивление (падение давления) вдоль

Для заметок

вторичного кольца больше, чем падение давления (сопротивление) на участке трубы между двумя тройниками.

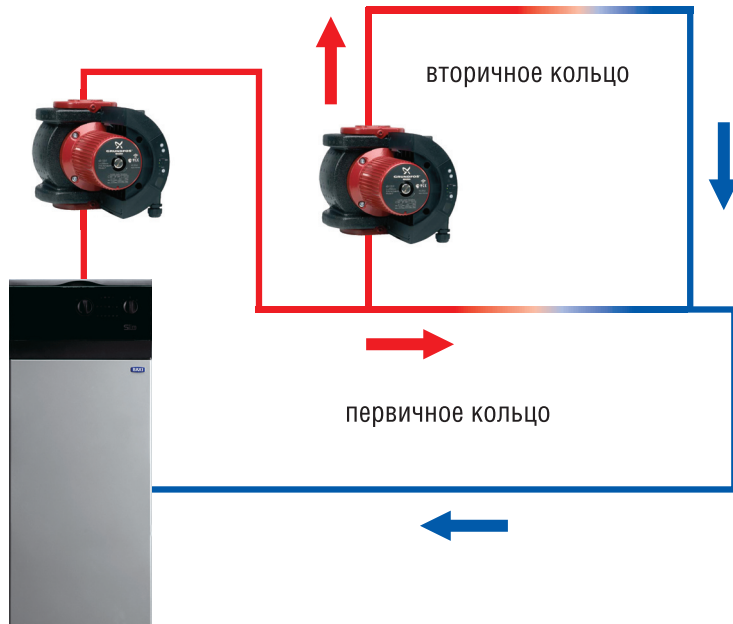


Рис. 4. Схема со вторичным кольцом

Но когда мы включим вторичный насос, по второму кольцу пойдет столько воды, сколько нам нужно, обеспечивая циркуляцию, так как работа вторичного насоса изменяет соотношение падений давления во вторичном кольце.

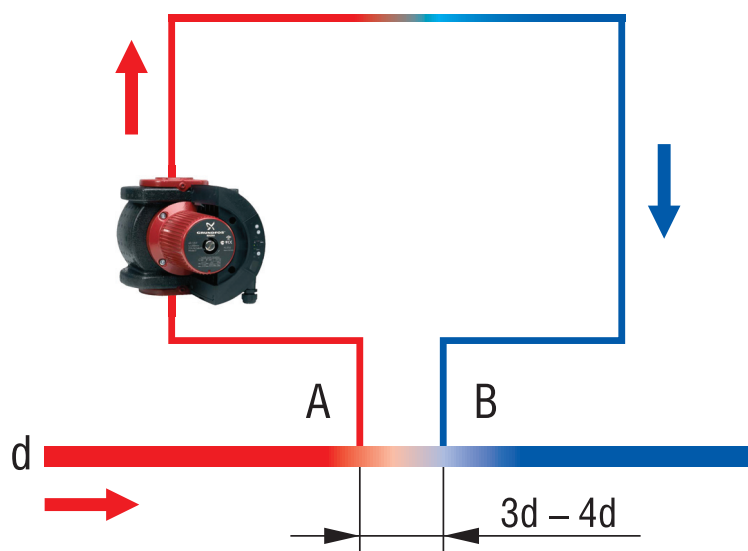


Рис. 5. Подключение вторичного кольца

Рассмотрим теперь, чем отличаются трубопроводы в данной системе (см. рис. 5). Давление, развиваемое высоконапорным (первичным) насосом в точках A и B почти

Для заметок

одинаково, так как тройники расположены на очень близком расстоянии друг от друга. Необходимо сделать так, чтобы максимальная длина этого участка была не больше 4-х диаметров трубы (4d). Иначе при отключении вторичного насоса будет происходить циркуляция воды во вторичном кольце.

Высоконапорный насос не будет создавать циркуляцию воды во вторичном кольце, потому что подающий трубопровод (общий участок между тройниками) является путем с наименьшим гидравлическим сопротивлением. Когда мы включим вторичный насос, он будет отбирать воду из первичного кольца в точке А, обеспечивать ее циркуляцию по вторичному кольцу и возвращать в первичное кольцо в точке В. Это произойдет потому, что давление в точках А и В практически равно. Иными словами, первичный насос не сможет «заглушить» вторичный. Оба насоса работают как две независимые системы.

Интересно посмотреть, что происходит на общем участке трубопровода. В зависимости от соотношения мощностей первичного и вторичного насосов и, соответственно, величины расходов воды, создаваемых первичным и вторичным насосами, можно заставить поток двигаться вперед, назад или не двигаться вообще. Вот как это выглядит на схеме:

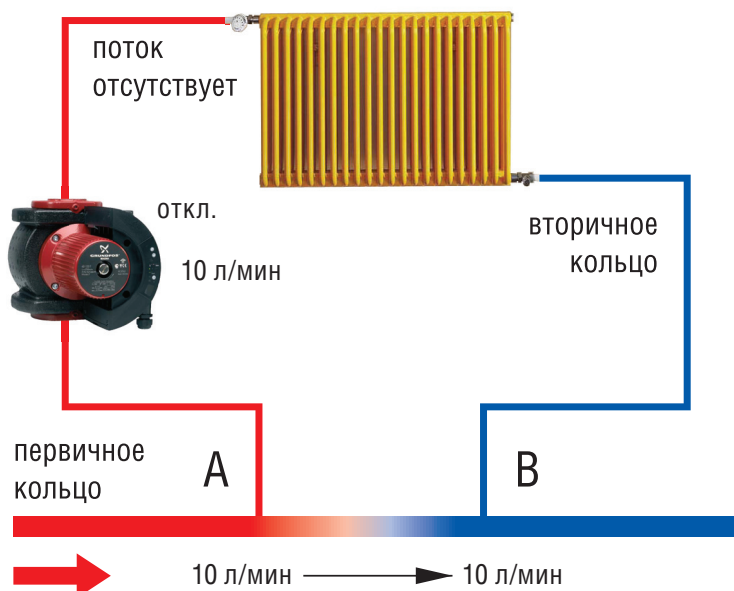


Рис. 6. Совместная работа насосов в первичном и вторичном кольцах

Для заметок

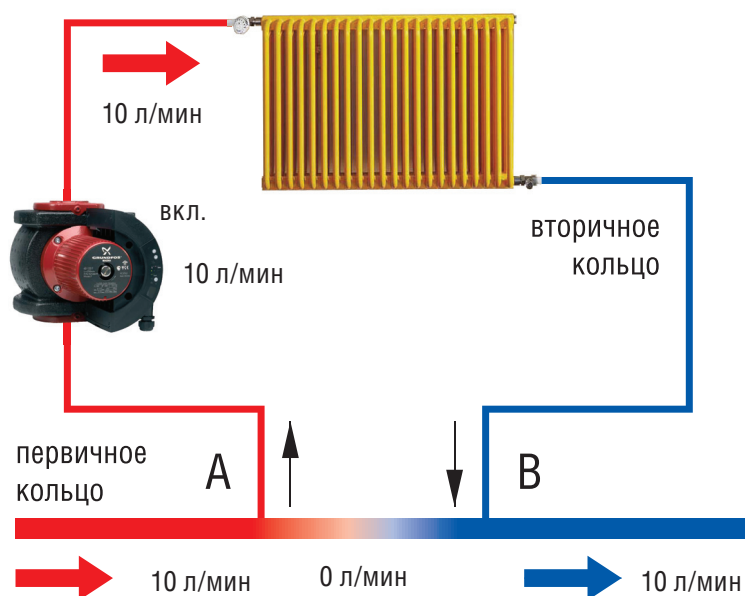


Рис. 7. Совместная работа насосов в первичном и вторичном кольцах

Допустим, мы подобрали насосы — как первичный, так и вторичный — производительностью 10 л/мин (см. рис. 6). Когда вторичный насос не работает, расход, развиваемый первичным насосом, то есть 10 л/мин, будет циркулировать между точками А и В. Во вторичном кольце циркуляции не будет.

При включении вторичного насоса (см. рис. 7) весь расход воды будет отбираться в точке А из первичного кольца во вторичное. Расход воды через общий участок трубопровода будет нулевым, что обусловлено простым принципом: вся вода, входящая в тройник, должна из него выйти. В данном случае у воды есть два пути выхода из тройника, и каким из них она пойдет, полностью зависит от вторичного насоса.

Для заметок

Теперь немного изменим условия.

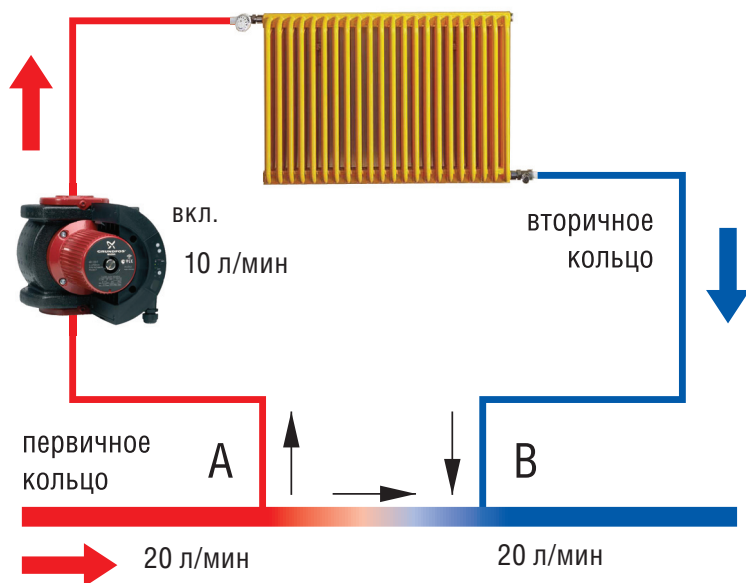


Рис. 8. Совместная работа насосов в первичном и вторичном кольцах

Допустим, производительность первичного насоса — 20 л/мин, а вторичного — 10 л/мин (см. рис. 8). Если включить вторичный насос, он будет отбирать 10 л/мин через тройник в точке А, а остальные 10 л/мин пройдут через общий участок, и в точке В к ним вновь присоединятся те самые 10 л/мин, прошедшие по вторичному кольцу.

Правило «Все, что входит в тройник, должно выйти из него» — работает, только теперь мы разделили поток на два направления. Есть также расход воды через общий участок трубопровода, но он составляет лишь половину потока, который был при выключенном вторичном насосе.

Однако в данных системах есть еще один путь, по которому вода может двигаться вдоль участка общего трубопровода. Предположим, что мы поменяли местами применявшиеся только что насосы. Установим насос производительностью 10 л/мин на первичном, а насос производительностью 20 л/мин — на вторичном кольце (см. рис. 9).

Для заметок

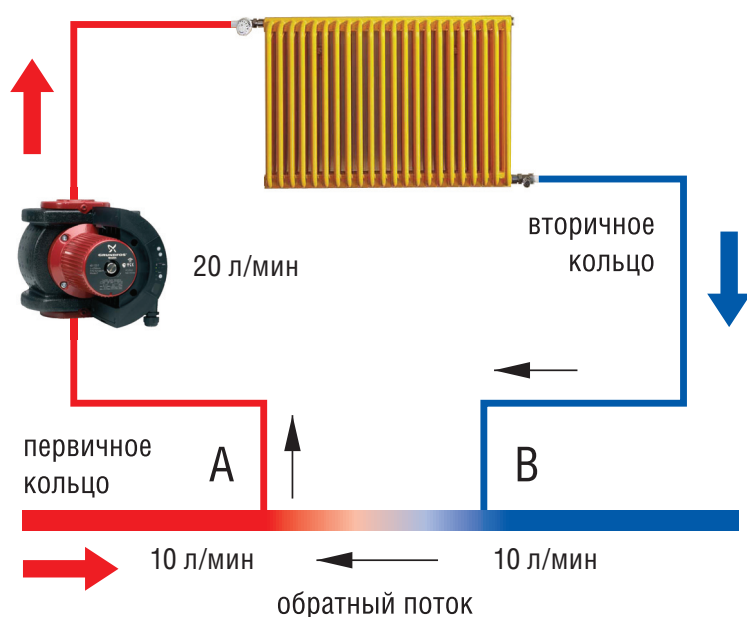


Рис. 9. Совместная работа насосов в первичном и вторичном кольцах

Когда вторичный насос отключен, поток воды в 10 л/мин проходит через общий участок трубопровода, так как был подобран первичный насос с такой производительностью. Включенный вторичный насос будет отбирать через тройник в точке А 20 л/мин. Но возникает вопрос: как он это делает? Ведь, как мы помним, в тройник поступает всего 10 л/мин. Самое время вспомнить упомянутое чуть выше правило: «Все, что входит в тройник, должно выйти из него». Только в данном случае наоборот — все, что выходит из тройника, должно войти в него. Если мы отбираем 20 л/мин через тройник, значит, тот же объем должен поступить в него с двух других сторон. Поскольку первичный насос обеспечивает всего 10 л/мин, вторичный должен забрать недостающие 10 л/мин с противоположной стороны тройника. Иначе говоря, из своего собственного циркуляционного расхода. Когда работают оба насоса, вода движется вдоль общего участка трубопровода в обратном направлении.

5. ПОДБОР КОТЛА

Котел подбирают исходя из его мощности, рассчитывая на самые неблагоприятные условия. При сильном ветре и минусовой температуре воздуха снаружи котел должен производить достаточно тепла для того, чтобы заказчик чувствовал себя комфортно. Правильно подобранный котел должен работать постоянно только в самый холодный (расчетный) день года. Для того чтобы подобрать котел таким образом, необходим расчет теплопотерь.

Для заметок

В любой другой день года котел способен производить гораздо больше тепла, чем от него требуется. Но есть ли смысл в том, что он работает на полную мощность в дни, когда наружная температура равняется 0 или +5°C? Ответ очевиден.

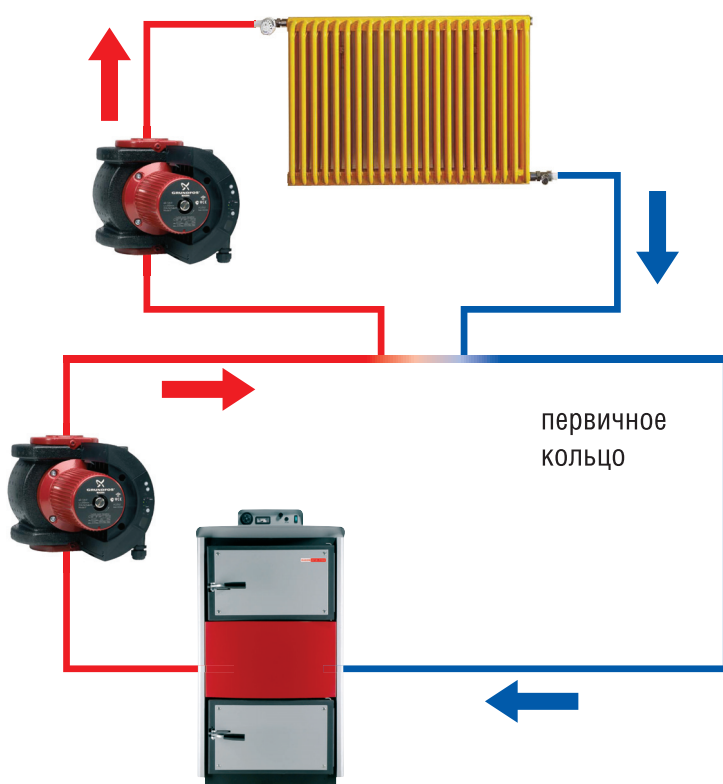


Рис. 10. Однокотловая установка

Котлы, подключенные по принципу первичного и вторичного колец, продемонстрируют свои преимущества именно в такие, менее холодные дни, поскольку будут производить ровно столько тепла, сколько необходимо, чтобы компенсировать теплопотери здания в данный момент.

Плюсы такой системы — комфорт и экономия. Допустим, общая потребность здания в тепле (отопление и горячее водоснабжение) оценивается в 150 кВт. Исходя из этого, можно подобрать один котел такой производительности — он будет обеспечивать здание теплом и горячей водой в любой день года (см. рис. 10), но для большинства дней в году его мощность будет слишком велика. Если же распределить необходимую производительность между двумя котлами — скажем, по 75 кВт каждый, — можно решить несколько задач одновременно (см. рис. 11).

Для заметок

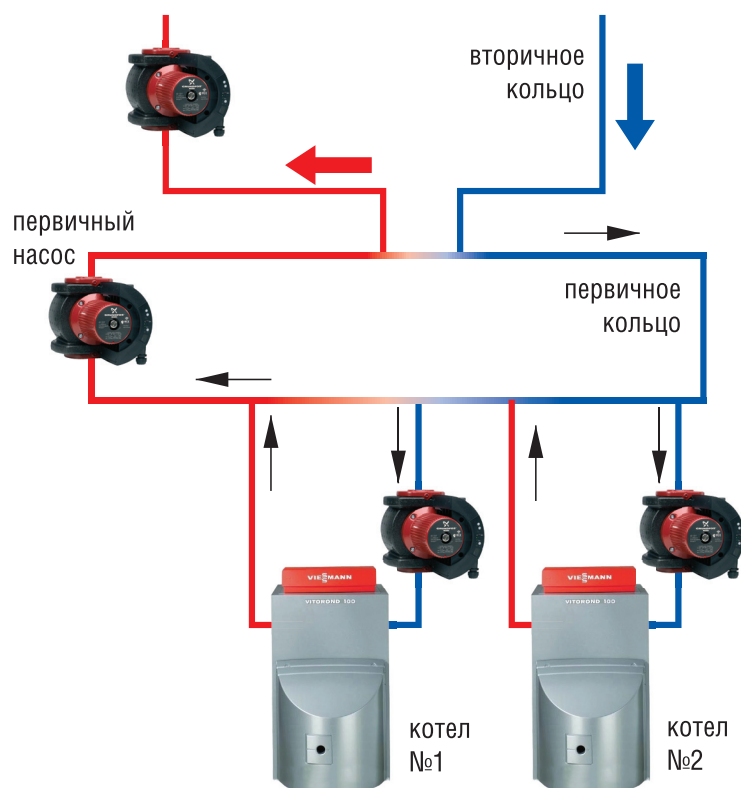


Рис. 11. Двухкотловая установка

Во-первых, в «средние» дни отопительного сезона будет работать только один котел, производящий достаточно тепла для обогрева. Так как производительность этого менее мощного котла близка к фактическим теплотерям здания, в дни со средними температурными показателями рабочие циклы малого котла будут более продолжительными, чем у одного котла, обладающего двойной мощностью. Применение двух котлов меньшей мощности значительно повышает общую эксплуатационную эффективность за счет снижения потерь в горячем резерве (потерь, вызванных естественным охлаждением неработающего котла), а также сокращает расходы на топливо.

С понижением уличной температуры к работе подключится второй котел, присоединенный последовательно, чтобы помочь первому поддерживать требуемую температуру в первичном кольце. Таким образом, два малых котла будут работать как один большой, но только в самые холодные дни.

Во-вторых, маловероятно, что обоим котлам одновременно потребуется ремонт. По этой причине системы такого типа применяются в больницах, школах, детских садах — везде, где недопустимо отключение тепла.

В-третьих, подключение котлов по принципу первично/вторичной системы исключает проток воды через неработающий котел, что снижает теплотери. Работающий

Для заметок

котел будет производить тепло, требуемое системой, а отключенный будет как бы отсечен от системы задвижками, хотя никаких задвижек на самом деле нет.

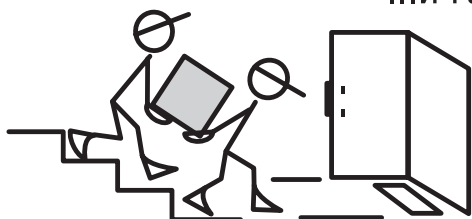
В-четвертых, добавив к системе прибор управления — контроллер, — можно заставить циркуляционный насос котла работать еще несколько минут после того, как основные горелки котла отключились. Таким образом, насос отводит избыточное тепло от теплообменника, перенося его в первичное кольцо.

Наконец, в-пятых, несколько котлов малого размера легче транспортировать. Компактность является немаловажным преимуществом применения нескольких котлов в первично/вторичной системе.

малый вес...



...и габариты



6. ТРЕБОВАНИЯ К РАСХОДУ ВОДЫ ЧЕРЕЗ КОТЕЛ

Расход воды через котел — важная величина в любой системе. Так как котел включен в первичное кольцо, гидравлически независимое от всей остальной системы, необходимо подобрать диаметры трубопроводов его обвязки и циркуляционный насос, ориентируясь исключительно на параметры котла (подобным образом рассчитывается расход в системе и нагревательных приборах).

Желательно, чтобы температура воды при проходе через котел не поднималась более 15°C. Поскольку повышение температуры воды и ее расход через котел известной мощности тесно связаны, существует таблица рекомендуемых расходов через котлы всего диапазона мощностей. Связь расхода воды через котел с повышением ее температуры в котле определяется тем, что вода должна унести с собой из котла все тепло, выделенное в нем. Значения оптимальных расходов теплоносителя через котел приведены в рекомендациях таких известных производителей,

Для заметок

как DeDietrich, проповедующих распространение энергоэффективных низкотемпературных отопительных систем.

Расход теплоносителя G , кг/ч, в системе отопления следует определять по формуле:

$$G = 3,6 \times Q / (C \times \Delta T),$$

где Q — расчетный тепловой поток, кВт, обеспечиваемый теплоносителем системы;

C — удельная теплоемкость воды, равная $4,2$ кДж/(кг·°C);

ΔT — разность температур, °C, теплоносителя на входе и выходе из системы.

Таблица расходов воды по первичному кольцу котла (при перепаде температуры 15°C), диаметров труб и предлагаемых типоразмеров насосов

Мощность котла, кВт	Расход воды, м³/час	Диаметр труб, дюйм	Потери напора в котле, м	Насосы Grundfos
30	1,72	1	0,12	UPS-25-60
40	2,3	1	0,18	UPS-25-60
60	3,44	1 1/4	0,37	UPS-32-80
75	4,3	1 1/2	0,64	UPS-32-80
95	5,45	1 1/2	1,04	UPS-32-80
120	6,88	1 1/2	0,34	UPS-32-80
140	8,02	2	0,49	UPS-40-120F
170	9,75	2	0,67	UPS-40-120F
200	11,47	2	0,95	UPS-40-120F

Эти практические расчеты основаны на том требовании, что скорость воды в трубах не должна достигать шумового предела (приблизительно 2 метра в секунду). Обычно скорость лежит в диапазоне 1–1,5 м/с.

Теперь, когда определен требуемый расход через первичное кольцо, для выбора циркуляционного насоса первичного кольца необходимо определить необходимый напор.

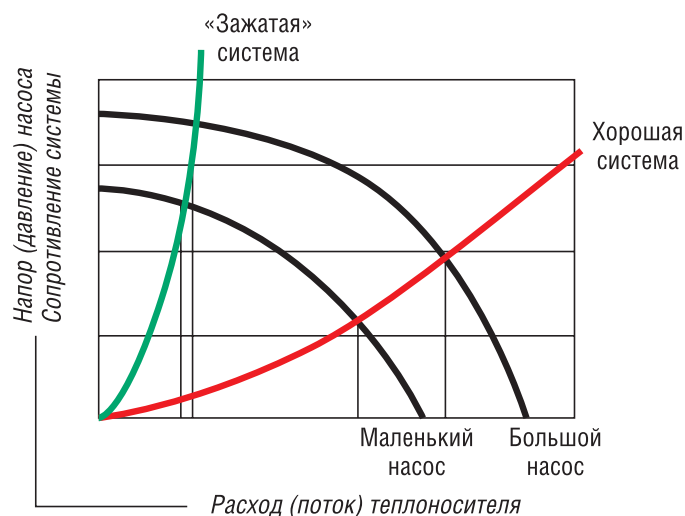
ЭМПИРИЧЕСКОЕ ПРАВИЛО

На каждые 10 м длины первичного кольца требуется 0,6 м напора насоса (при этом исходим из указанных выше расходов воды и рекомендованных диаметров).

Помимо сопротивления трубопровода, необходимо учитывать также местные сопротивления (котел, запорная арматура, гидравлическая стрелка и пр.). Когда определятся расход воды и потери напора, можно будет подобрать насос по каталогу производителя.

Для заметок

Иногда, желая сэкономить, при монтаже системы отопления используют трубу меньшего диаметра. Кажется, что достаточно поставить насос помощнее, чтобы теплоноситель начал двигаться. Однако в этом случае экономия на приобретении труб окажется бесполезной, так как будет «съедена» необходимостью покупать более дорогой и мощный насос. А возможно, любой мощности насоса окажется недостаточно для преодоления сопротивления в трубе — из-за «зажатости» системы. Дело в том, что теплоноситель в трубе должен двигаться с определенной скоростью, чтобы каждую секунду в радиаторы поступал достаточный объем горячего теплоносителя, достигая тем самым нужной теплоотдачи. Этот объем называют расходом теплоносителя. Чем выше скорость движения теплоносителя, тем больше его расход. Но при увеличении скорости возрастает и сопротивление (трение) в трубе, то есть с увеличением расхода теплоносителя увеличивается и сопротивление системы.



При зауженном диаметре трубопровода, сколько бы ни увеличивалась мощность насоса, расход теплоносителя в системе остается небольшим, а сопротивление в трубе (давление, напор) возрастает. Теплоноситель в такой системе не движется или движется слишком медленно, котел чаще перегревается, а отопительные приборы остаются холодными, так как горячий теплоноситель не поступает в них в нужном объеме. Такую систему и называют «зажатой».

7. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Помимо циркуляционного насоса, на первичном кольце устанавливают расширительный бак, воздухоотделитель, шламособорник, гидравлический или термогидравлический разделитель и вентиль подачи подпиточной воды.

Для заметок

7.1. Важная деталь — место установки расширительного бака

В любой закрытой гидравлической системе расширительный бак является «точкой неизменного давления». В этом месте перепад давлений, развиваемый работающим насосом, не воздействует на статическое давление. Циркуляционный насос использует расширительный бак в качестве точки отсчета, чтобы «знать, что делать».

Если насос откачивает воду от расширительного бака, то перепад давления, создаваемый насосом, прибавляется к величине давления заполнения (статическому давлению) системы.

Если насос накачивает воду в расширительный бак, то перепад давления, создаваемый насосом, «вычитается» из статического давления системы.

Допустим, насос создает перепад давления в 10 метров водяного столба (м. в. с.). Допустим также, что мы задали статическое давление в нашей системе (в расширительном баке) величиной 15 м. в. с. (приблизительно 1,5 атмосферы). Если насос откачивает воду от этого бака, давление на напорном фланце насоса, когда он работает, будет 25 м. в. с., а давление на его всасывающем фланце — 15 м. в. с., учитывая то, что расположен он в непосредственной близости от точки присоединения расширительного бака (см. рис. 12).

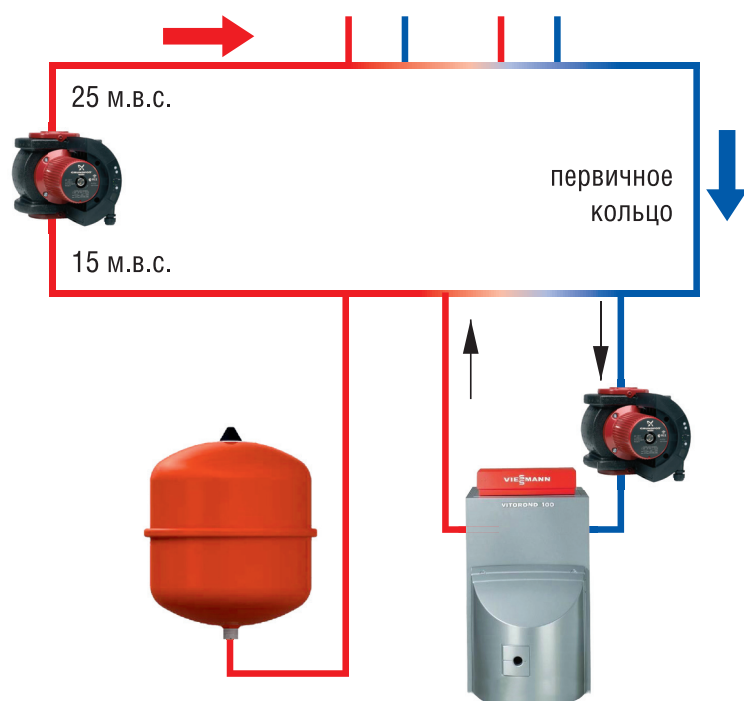


Рис. 12. Установка расширительного бака перед насосом

Для заметок

Если смонтировать насос с другой стороны от расширительного бака, он будет нагнетать воду прямо в точку присоединения расширительного бака к первичному кольцу (см. рис. 13). При этих условиях, как только насос начнет работу, давление с его напорной стороны будет тем же — 15 м. в. с., но давление со всасывающей стороны упадет до 5 м. в. с. Если включить насос в кольцо таким образом, перепад давления, создаваемый насосом, проявит себя как падение давления на всасывающей стороне. Вода продолжит циркулировать, поскольку останется перепад давления в 10 м. в. с., но такое падение давления может вызвать проблему с удалением воздуха из системы, а также затруднения в работе насосов (явление кавитации*).

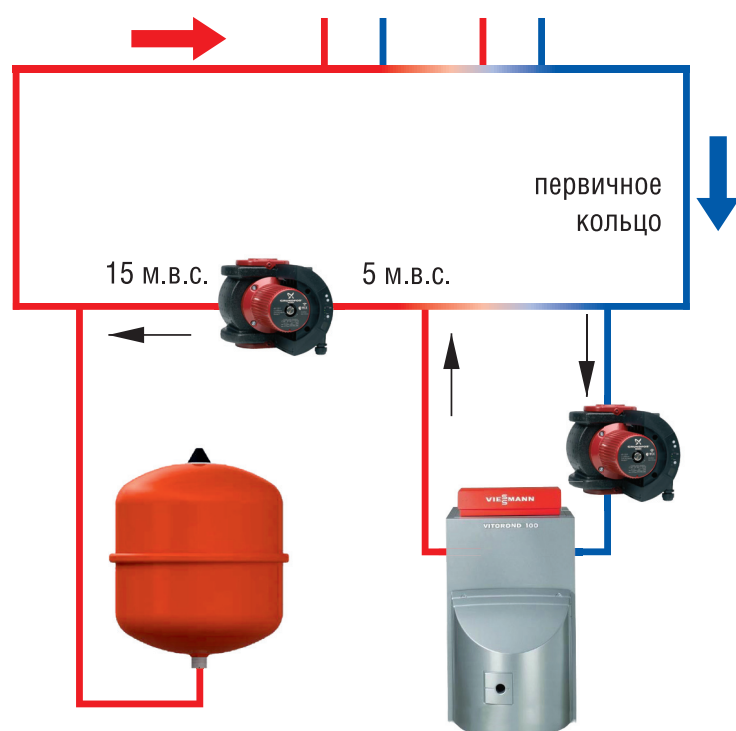


Рис. 13. Установка расширительного бака за насосом

В растворенном виде воздух всегда присутствует в воде, циркулирующей в системе, но когда давление падает, воздух выходит из раствора, образуя пузырьки.

Воздух может появиться по разным причинам:

- 1) попасть при наполнении (иногда вода содержит до 15 мг/л растворенного в ней кислорода, который при нагревании высвобождается и переходит в газообразную форму);
- 2) расширительные баки могут быть неисправны или неправильно рассчитаны, что создает в отопительных

* **Кавитация** — образование в жидкости полостей, заполненных паром. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости

Для заметок

установках зоны пониженного давления по отношению к атмосферному;

- 3) неисправность или неправильная установка устройств для воздухоотделения;
- 4) диффузия через пластиковые трубы.

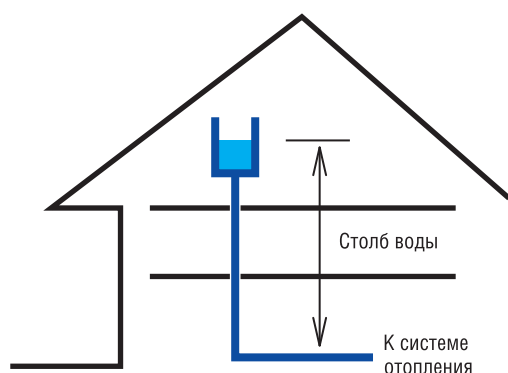
Но как воздух может попасть в установку под давлением? Это явление связано с физическим принципом, который изначально не принимают во внимание. Несмотря на преобладающее в системе повышенное давление, воздух может в нее проникать — все зависит от его степени насыщения.

Для чего нужен и как устроен расширительный бак?

Благодаря своим физическим свойствам, такой теплоноситель как вода является практически несжимаемой жидкостью. Таким образом, любая попытка сжать воду — то есть уменьшить ее объем — приводит к резкому увеличению давления.

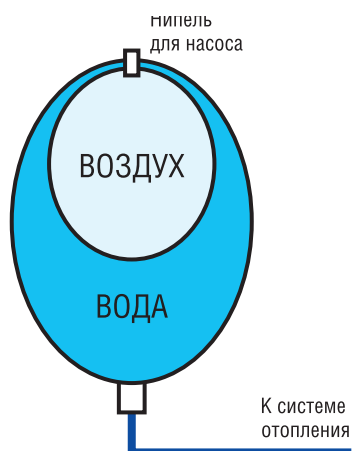
Кроме того, в интересующем нас диапазоне температур (20°–90°C) при нагревании вода способна расширяться.

Именно эти свойства воды обуславливают то, что в системе отопления она должна иметь возможность увеличения своего объема («дыхания»). Существует два способа обеспечить ей эту возможность: устроить «открытую» систему отопления с открытым расширительным баком в верхней точке системы или в закрытой системе отопления применить мембранный расширительный бак. В открытой системе отопления роль «пружины», уравнивающей расширение воды при нагревании, играет столб воды до расширительного бака, который монтируется на чердаке.



В закрытом мембранном расширительном баке в роли такой же «пружины» выступает баллон со сжатым воздухом — как в камере автомобильного колеса.

Для заметок



Увеличение объема воды в системе отопления при нагревании приводит к оттоку воды из системы в расширительный бак, что сопровождается сжатием воздушного баллона в расширительном баке и увеличением давления в нем. Таким образом, вода также имеет возможность расширяться, как и в открытой системе, но нигде напрямую не контактирует с воздухом.

Мембранный расширительный бак предпочтительнее открытого по нескольким причинам:

1. Бак может быть расположен там же, где и котел, не нужно тянуть трубу до чердака, где зимой есть риск «подморозить» бак.
2. В закрытой системе вода и воздух не контактируют, а значит, растворение в воде дополнительного кислорода исключено (это продлит «жизнь» радиаторов и котла еще на несколько лет).
3. Можно задать дополнительное (избыточное) давление даже в верхней точке системы отопления, что минимизирует риск образования воздушных «пузырей» в верхних радиаторах.
4. Открытый расширительный бак бывает просто негде расположить, поскольку в последнее время чердачные помещения все чаще используются как жилые.
5. Если учитывать материалы, работу и отделку, то мембранный расширительный бак обойдется дешевле, чем открытый.

7.2. Воздухоотделители и шламособорники

Если термогидравлический распределитель или гидравлический разделитель отсутствуют, рекомендуется установить воздухоотделитель (см. рис. 14) для удаления воздуха из отопительной установки и шламособорник для сбора грязи и шлама (см. рис. 15). Воздухоотделитель устанавливается после котла, шламособорник — до котла.

Для заметок

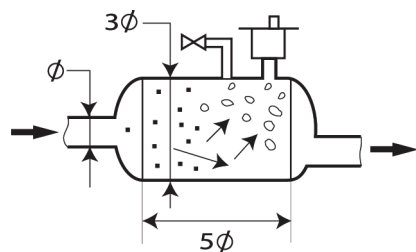


Рис. 14. Размеры воздухоотделителя

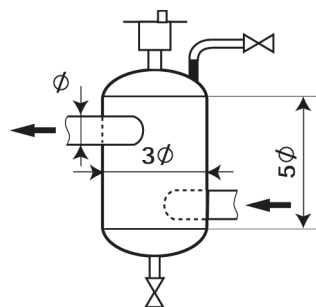


Рис. 15. Размеры шламосборника

7.3. Конструкция и принцип работы разделителей

Как правило, современные системы отопления являются многоконтурными, то есть состоят из нескольких гидравлических контуров отопления. Эти контуры могут быть как низкотемпературными — например, напольное отопление или низкотемпературное радиаторное отопление, так и высокотемпературными — высокотемпературное радиаторное отопление, воздушное отопление, подогрев бассейна, контур нагрева емкостного водонагревателя.

В некоторых случаях необходимо применять трехходовые смесители с сервоприводами (понижают температуры теплоносителя до заданного значения за счет подмешивания теплоносителя из обратной линии), которыми должна управлять автоматика котла.

Учитывая особенности работы некоторых насосов, например загрузочного насоса водонагревателя, и трехходовых смесителей, получается, что каждый контур системы отопления «живет своей жизнью», то есть отбирает именно столько нагретого теплоносителя, сколько ему необходимо в данный момент. Суммарный расход (количество используемого нагретого теплоносителя) всех контуров отопления постоянно меняется, а для котла, наоборот, желателен неизменный расход теплоносителя.

Для заметок

Таким образом, для стабильной, корректной работы котла и системы отопления необходимо разделить контур котла и каждый контур системы отопления, то есть сделать независимыми производство тепла (контур котла) и потребление тепла (контур отопления).

Функцию гидравлического разделения выполняют термогидравлический распределитель и гидравлический разделитель, конструктивно представляющие собой вертикально установленный участок трубопровода (перемычку) большого диаметра. Благодаря большому диаметру (по отношению к диаметру трубопровода котлового контура), скорость теплоносителя в термогидравлическом распределителе (или гидравлическом разделителе) быстро гасится.

Гидравлическое сопротивление этого устройства мало по отношению к сопротивлению контуров отопления и котла. Таким образом, между котлом и контурами отопления появляется буфер с практически нулевым сопротивлением, то есть контуры отопления никак не будут влиять на контур котла и расход теплоносителя через котел. Функцию гидравлического разделения котлового контура и контуров отопления выполняют оба устройства.

Помимо разделения, термогидравлический распределитель обеспечивает распределение подающих линий контуров отопления по температуре: в верхней части — самый высокотемпературный контур (греющий контур водонагревателя, подогрев бассейна, калорифера вентиляции или радиаторное отопление), чуть ниже — контур с меньшей температурой, в самом низу — низкотемпературный контур отопления (низкотемпературное радиаторное или напольное отопление). Такое же правило действует и для обратных линий контуров отопления: в верхней части — самая высокотемпературная (теплая) обратная линия, внизу — самая холодная.

Гидравлический разделитель выполняет функцию гидравлической развязки (разделения) котлового контура и контуров отопления. Независимость самих контуров отопления обеспечивается за счет подающего и обратного коллекторов, которые устанавливаются после гидравлического разделителя (см. рис. 16).

Для заметок

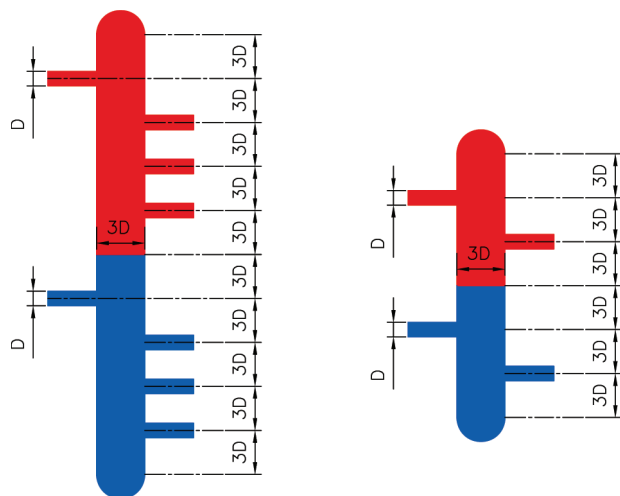


Рис. 16. Схема термогидравлического распределителя (слева) и гидравлического разделителя (справа)

7.4. Подпитка отопительной установки

На линии подпитки отопительной установки рекомендуется устанавливать водный счетчик, который позволяет определить объем воды при первоначальном заполнении и контролировать объем подпитки для данной установки. Знание объема отопительной установки дает возможность проверить правильность подбора расширительного бака, а также сообщает информацию о возможных утечках в отопительной установке.

Для заметок

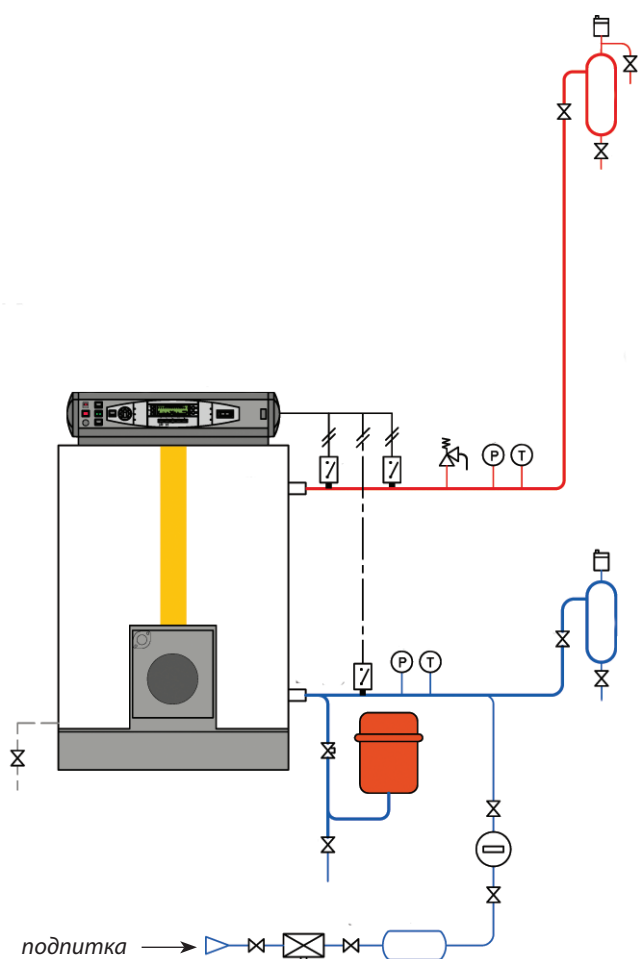


Рис. 17. Подпитка отопительной установки
в обратную линию котла

На всех гидравлических схемах показано, что первоначальное заполнение и подпитка отопительной установки производятся в обратную линию котла (см. рис. 17).

Выбирая такое техническое решение, следует помнить, что подпитка отопительной установки всегда должна быть контролируемой, необходимо избегать подачи большого количества холодной подпиточной воды в разогретый чугунный котел.

Существует несколько вариантов организации подпитки, которые позволяют исключить риск попадания холодной подпиточной воды в разогретый котел.

1. Подпитка горячей водой через водонагреватель (см. рис. 18).

Данное техническое решение имеет два очевидных преимущества:

Для заметок

- 1) подпитка системы холодной водой исключена, так как в водонагревателе работающей установки всегда находится горячая вода;
- 2) давление в системе горячего водоснабжения, как правило, больше, чем в системе отопления, поэтому для организации такой линии подпитки нужно будет добавить всего два шаровых крана и обратный клапан, чтобы избежать попадания теплоносителя из системы отопления в систему горячего водоснабжения.

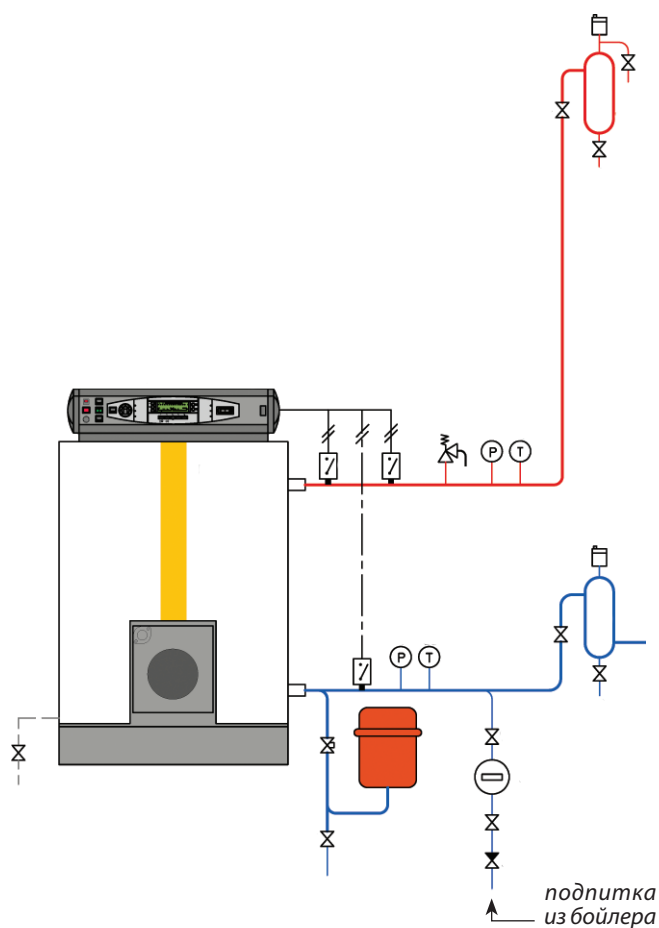


Рис. 18. Подпитка отопительной установки
через водонагреватель

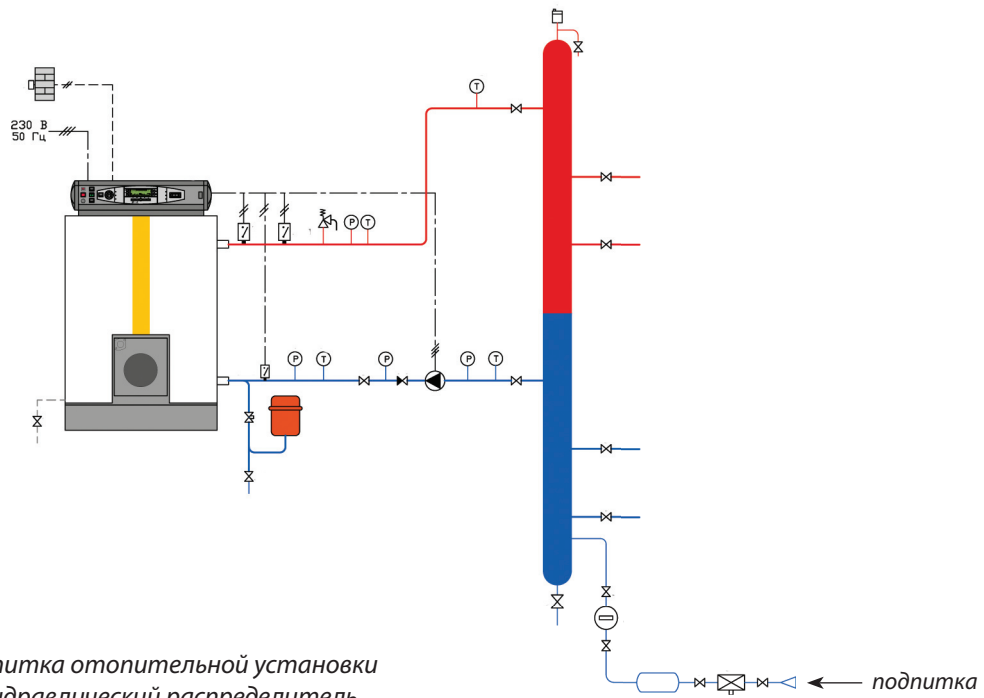


Рис. 19. Подпитка отопительной установки в термогидравлический распределитель

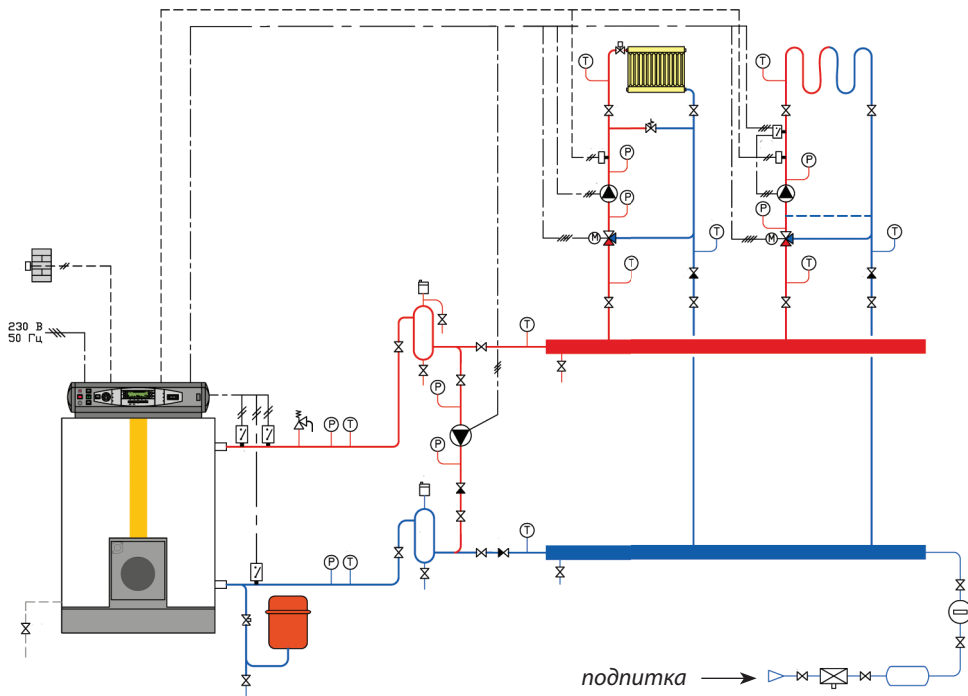


Рис. 20. Подпитка отопительной установки в обратный коллектор

Для заметок

2. Подпитка отопительной установки в термогидравлический распределитель (или гидравлический разделитель) (см. рис. 19).

В этом случае в термогидравлическом распределителе (гидравлическом разделителе) происходит перемешивание холодной подпиточной воды с теплоносителем из обратных линий контуров отопления, то есть в разогретый котел попадет уже теплая (разбавленная) подпиточная вода.

3. Подпитка отопительной установки в обратный коллектор (см. рис. 20).

Перемешивание холодной подпиточной воды и теплоносителя из системы отопления происходит в данном случае в обратном коллекторе, то есть возможность попадания холодной воды в разогретый котел также исключена.

8. УПРАВЛЕНИЕ ПОДАЧЕЙ ТЕПЛА В ЗОНУ ОТОПЛЕНИЯ

Самый простой способ устроить зону радиаторного отопления — подключить ее в качестве вторичного кольца к первичному трубопроводу. Тогда циркуляционный насос зоны будет включаться в ответ на команду комнатного терморегулятора, и будет действовать как двухпозиционный орган управления (вкл./выкл.). Фактически насос будет регулировать степень нагрева зоны, исходя из теплопотерь обслуживаемой им зоны (см. рис. 21).

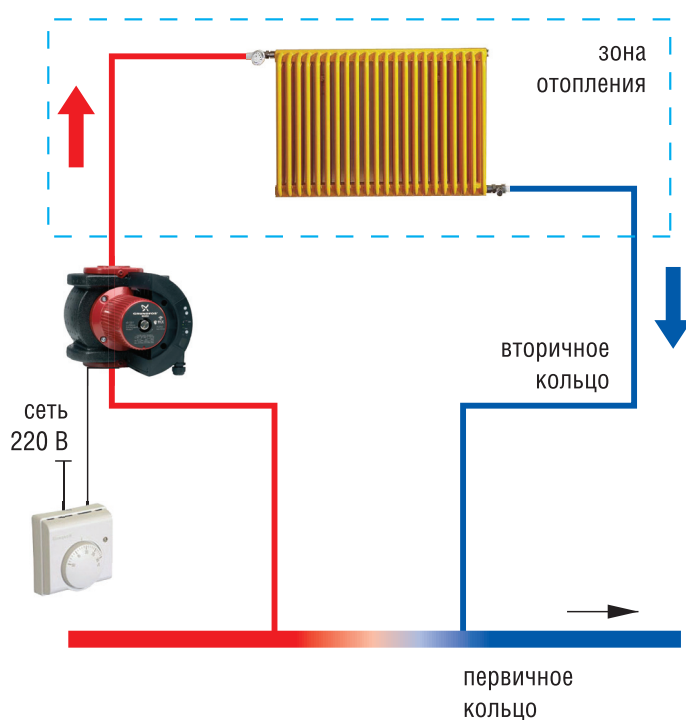


Рис. 21. Управление подачей тепла с помощью комнатного термостата

Для заметок

Зонный циркуляционный насос подбирают по расходу воды и потере напора только одной вторичной зоны. При необходимости подать в какую-либо зону воду низкой температуры (например, в систему напольного отопления) можно применить трехходовые краны для регулировки температуры воды, подаваемой в эту зону. Трехходовой кран устанавливается на всасывающем патрубке циркуляционного насоса, обращенном в сторону первичного кольца (см. рис. 22).

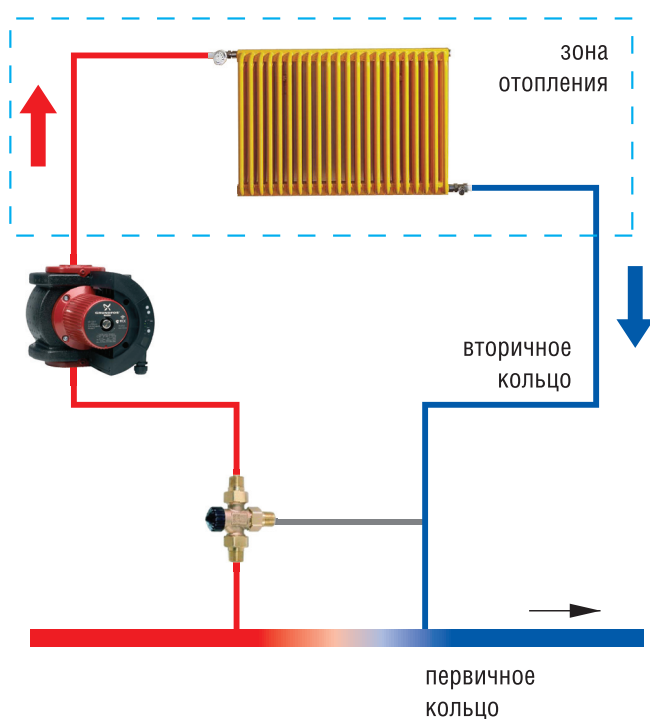


Рис. 22. Управление подачей тепла с помощью трехходового клапана

Трехходовой кран, что немаловажно, будет регулировать температуру воды, а не ее расход через радиаторы. Устройство 3-ходовых кранов отвечает задаче управления потоком жидкости. Любой кран такого типа имеет три входных отверстия. Одно — общее, другие — переключаемые. Переключение потока жидкости происходит с помощью поворотной (или штоковой) заслонки, имеющей два крайних положения (см. рис. 23). В крайнем положении проток жидкости происходит только через одно из переключаемых отверстий. При любом промежуточном положении заслонки потоки жидкости смешиваются в некоторой пропорции. Если потоки имели разную температуру, то у выходного смешанного потока температура будет иметь некое промежуточное среднее значение.

Для заметок

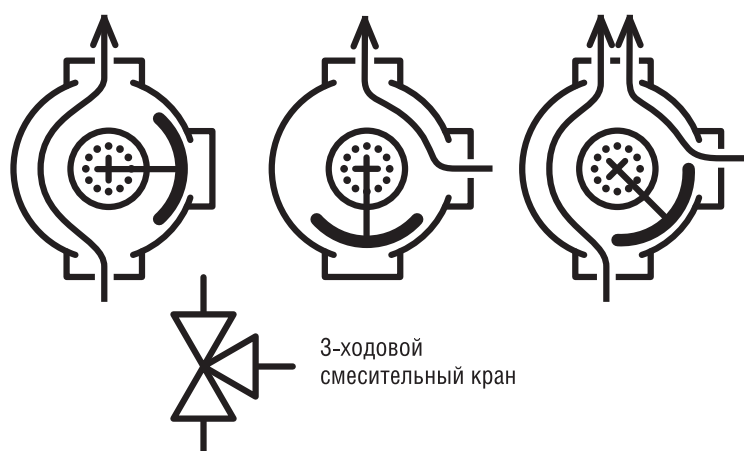
3-ходовой
смесительный кран

Рис. 23. Распределение потоков в трехходовом клапане

Это позволяет регулировать температуру во вторичном отопительном контуре — например, в ветке теплых полов. Трехходовые краны предназначены специально для управления температурой теплоносителя в ветках отопления, поворот заслонок в которых выполняют специальные управляемые моторы (сервомоторы или серводвигатели). Управляют моторами — а значит, и температурой теплоносителя — специальные электронные устройства — контроллеры. Необходимую информацию контроллер получает от датчиков температуры (теплоносителя и наружного воздуха).

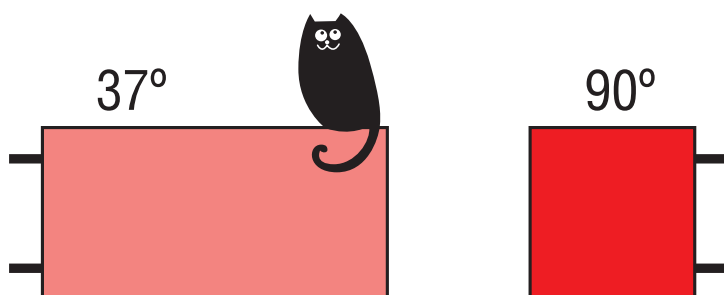
9.0 ТЕМПЕРАТУРЕ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Используя радиаторы при обогреве помещений, можно выбрать то, что удобно именно вам: установить небольшие радиаторы и увеличивать теплоотдачу от них, повышая температуру теплоносителя (высокотемпературное отопление), или при той же теплоотдаче увеличивать размеры радиатора, но взамен получить более низкую температуру его поверхности (низкотемпературное отопление).

Однако следует помнить, что при высокотемпературном отоплении радиаторы буквально пшут жаром. У такой системы нет запаса регулирования, а это не только некомфортно, но и неэкономично. Высокая температура радиатора приводит также к разложению органической пыли, частицы которой есть в любом помещении. Вдыхать продукты этого разложения — вредно для здоровья.

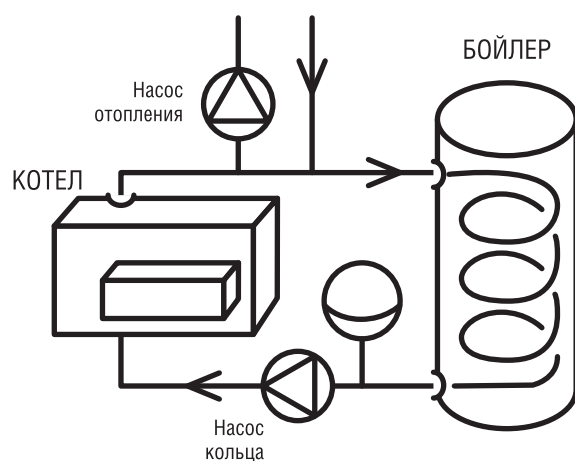
Для заметок

При низкотемпературном отоплении радиаторы, наоборот, слегка теплые, но и в помещении все равно тепло. Это не только комфортно (согласно исследованиям, наиболее приемлемая для человека температура отопления — 37°), но безопасно и позволяет экономить, т.к. снижается число включений/выключений горелки.



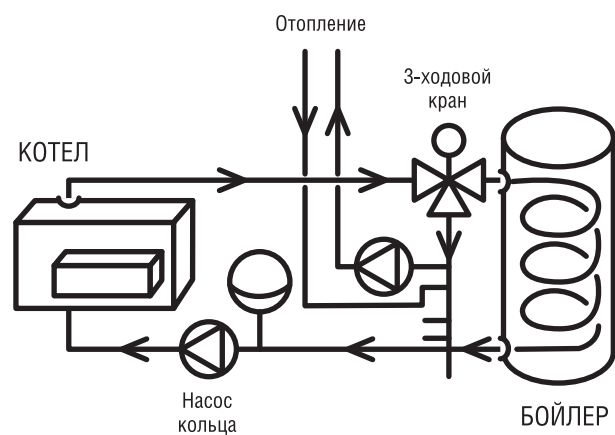
Недорогое техническое решение

Если котел всего один, а потребителей тепла немного, все может быть еще проще и дешевле. Для небольших котлов допустима схема, в которой «кольцо» пронизывает и котел, и бойлер, а потребители подключаются в соответствии с обычной схемой, как вторичные кольца.



Хотя в реальности в большинстве случаев монтируемая схема выглядит немного сложнее:

Для заметок



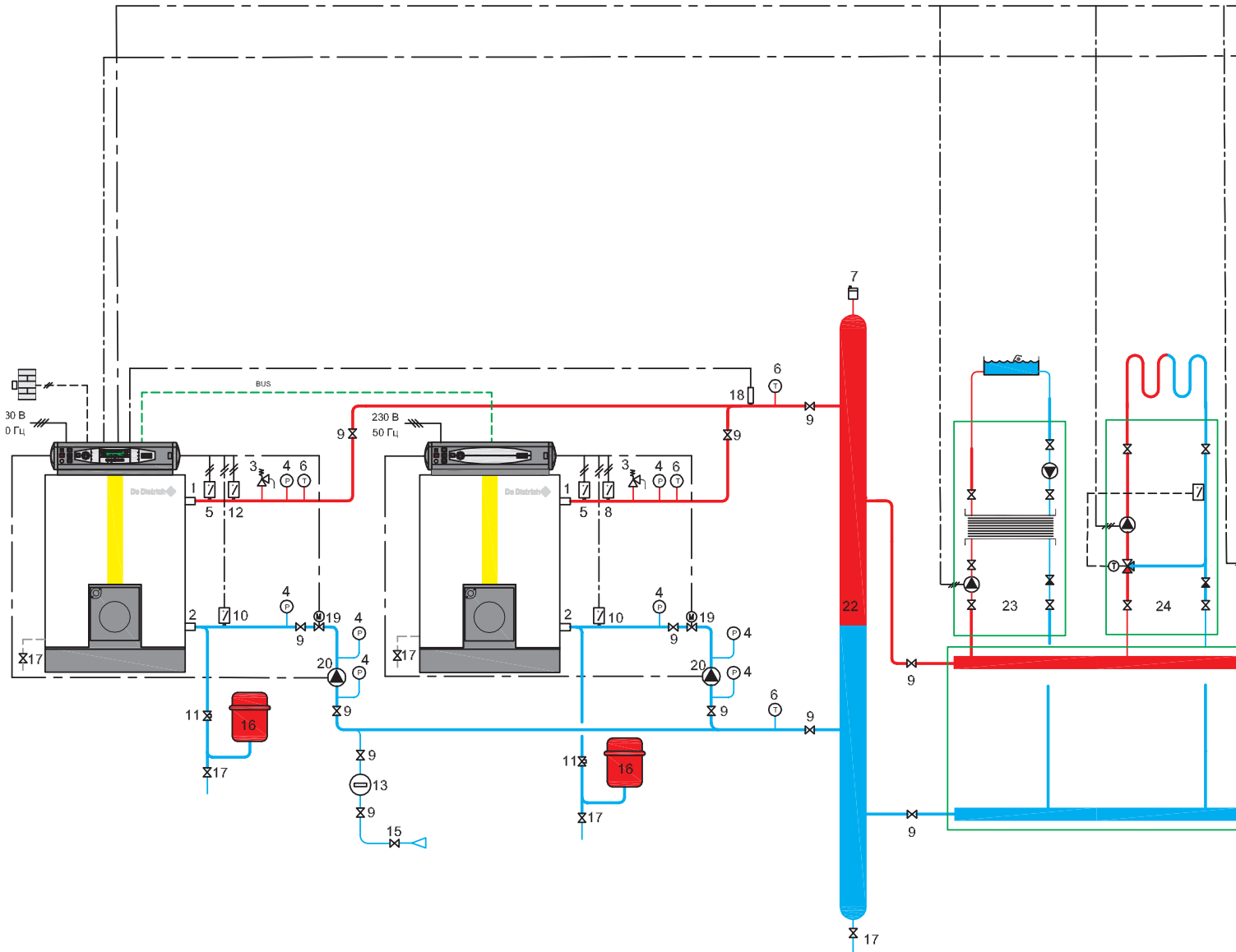
Такое решение позволяет не только выделить бойлер (приготовление горячей воды) из ряда других потребителей, но и обеспечить ему приоритет перед ними.

Для заметок

10. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

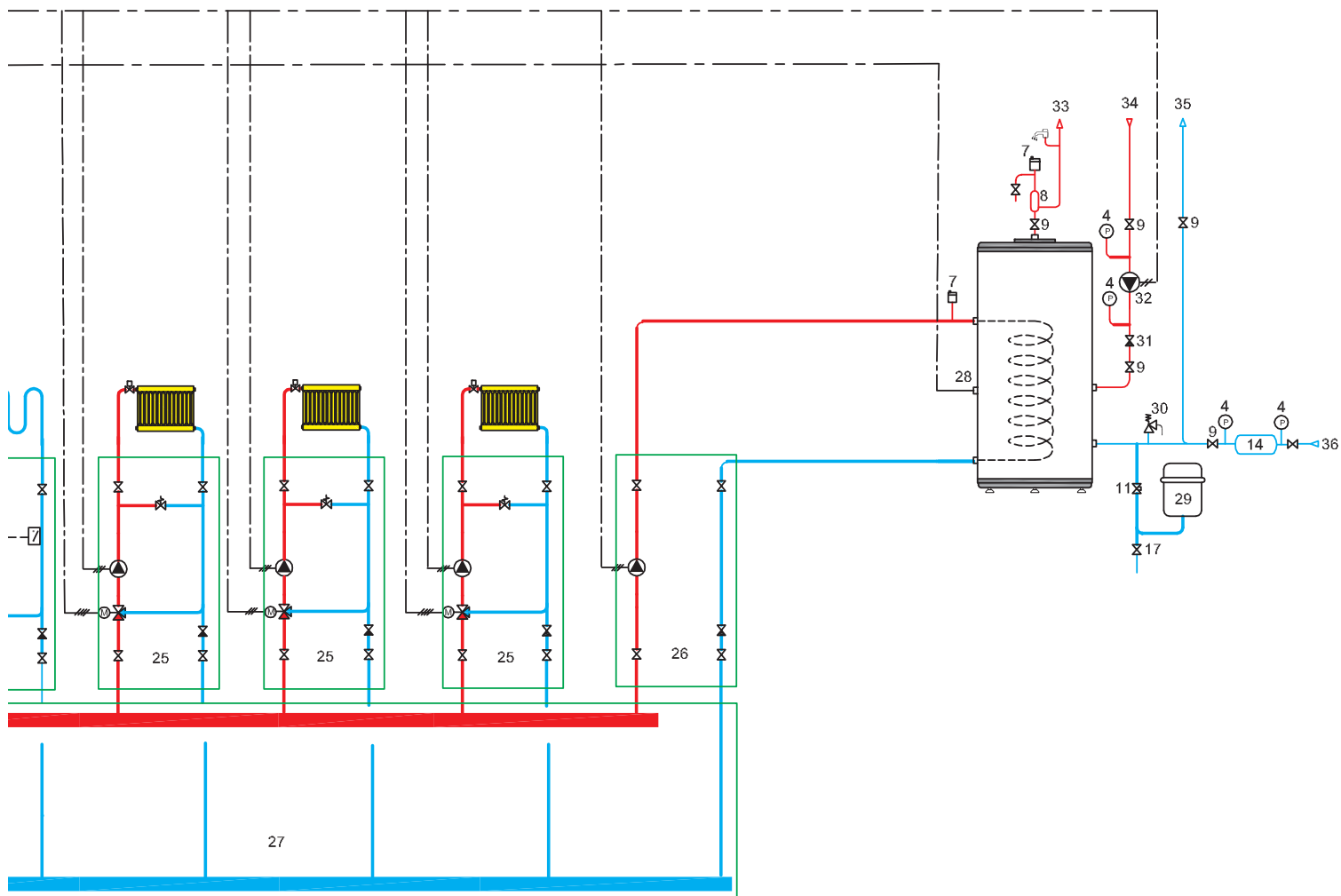
Для обеспечения надежности установок, помимо указаний, приведенных изготовителем в инструкции, мы рекомендуем соблюдать еще 5 правил:

1. Во время работы горелок для каждого котла необходимо непрерывно обеспечивать минимальный проток, соответствующий номинальной мощности котла, причем разница температур между подающей линией и обратной линией котла должна быть меньше 45°C.
2. Обеспечивать постоянное и эффективное удаление воздуха из любой точки системы.
3. Поддерживать достаточный уровень воды в установке.
4. Поддерживать в котлах достаточное гидростатическое давление.
5. Делать все возможное для того, чтобы не образовывалась накипь.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- | | |
|---|---|
| <p>1 Подающая линия отопления</p> <p>2 Обратная линия отопления</p> <p>3 Предохранительный клапан</p> <p>4 Манометр</p> <p>5 Реле потока</p> <p>6 Термометр</p> <p>7 Автоматический воздухоотводчик</p> <p>8 Воздухоотделитель</p> <p>9 Отсечной кран</p> | <p>10 Реле минимального давления воды</p> <p>11 Отсечной кран с защитой от случайного закрывания</p> <p>12 Реле максимального давления воды</p> <p>13 Водный счетчик</p> <p>14 Водоподготовка</p> <p>15 Устройство для заполнения контура отопления</p> <p>16 Расширительный бак Reflex тип N</p> <p>17 Сливной кран</p> <p>18 Датчик температуры общей подающей линии насадка (переключается на ведущий котел)</p> |
|---|---|



- 19 Отсечная заслонка с сервоприводом
- 20 Циркуляционный насос котла
- 21 Датчик наружной температуры
- 22 Гидравлический разделитель или термогидравлический распределитель
- 23 Насосная группа Meibes с отдельным теплообменником
- 24 Насосная группа Meibes с ограничением температуры подающей линии
- 25 Насосная группа Meibes (контур с трехходовым смесителем)
- 26 Насосная группа Meibes (контур без смесителя)

- 27 Распределительная гребенка Meibes
- 28 Датчик температуры горячей санитарно-технической воды (ГВС)
- 29 Расширительный бак Reflex тип DE
- 30 Группа безопасности 6 или 8 бар
- 31 Обратный клапан
- 32 Насос циркуляции ГВС
- 33 Выход горячей санитарно-технической воды
- 34 Обратная линия контура циркуляции горячей санитарно-технической воды
- 35 Подача холодной воды потребителю
- 36 Вход холодной санитарно-технической воды

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕПЛОГЕНЕРАТОРАМ

1. Для поквартирных систем теплоснабжения жилых зданий следует применять автоматизированные теплогенераторы на газовом топливе с герметичными (закрытыми) камерами сгорания (типа «С») полной заводской готовности, отвечающие следующим требованиям:
 - ✓ суммарная теплопроизводительность теплогенераторов не должна превышать 100 кВт при размещении в теплогенераторных и 35 кВт — при размещении в кухнях;
 - ✓ КПД не менее 89%; температура теплоносителя не более 95°C;
 - ✓ давление теплоносителя до 1,0 МПа;
 - ✓ эмиссия вредных выбросов: CO — следы, NO_x — не более 30 ppm (60 мг/м³).
2. К применению допускаются теплогенераторы, автоматика безопасности которых обеспечивает прекращение подачи топлива при:
 - ✓ прекращении подачи электроэнергии;
 - ✓ неисправности цепей защиты;
 - ✓ погасании пламени горелки;
 - ✓ падении давления теплоносителя ниже предельно допустимых значений;
 - ✓ достижении предельно допустимой температуры теплоносителя;
 - ✓ нарушении дымоудаления;
 - ✓ превышении давления газа предельно допустимого значения.
3. Теплогенераторы должны иметь разрешительные и сертификационные документы, требуемые законодательством РФ.
4. К применению допускаются теплогенераторы:
 - ✓ двухконтурные со встроенным контуром горячего водоснабжения;
 - ✓ одноконтурные (без встроенного контура горячего водоснабжения) с возможностью присоединения емкостного водо-водяного подогревателя горячего водоснабжения.
5. Теплопроизводительность теплогенераторов для поквартирных систем теплоснабжения жилых квартир определяется максимальной нагрузкой горячего водоснабжения в зависимости от числа установленных санитарно-технических приборов или расчетной нагрузкой отопления. Теплопроизводительность теплогенераторов для встроенных помещений общественного назначения определяется максимальной расчетной нагрузкой отопления и средней расчетной нагрузкой горячего водоснабжения.
6. При реконструкции систем теплоснабжения существующего жилого фонда, связанной с переходом на поквартирное теплоснабжение, в зданиях высотой до 5 этажей включительно рекомендуется также предусматривать установку теплогенераторов с закрытой камерой сгорания.
7. Теплогенератор должен поставляться комплектно с деталями дымоотводов и воздуховодов в пределах помещения, где установлен теплогенератор, а также с инструкцией по монтажу и эксплуатации, в которой производителем излагаются все необходимые меры безопасности.

Размещение теплогенераторов

1. Размещение теплогенераторов, трубопроводов, дымоотводов, дымоходов, воздуховодов и другого инженерного оборудования должно обеспечивать безопасность их эксплуатации, удобство технического обслуживания и ремонта.
2. Планировку квартир следует предусматривать с учетом размещения кухонь или теплогенераторных, позволяющего производить ввод инженерных коммуникаций (водопровод, газопровод, канализация) в квартиры со стороны лестничной площадки. Транзитная прокладка указанных коммуникаций через жилые помещения и через нежилые помещения общественного назначения допускается при условии соблюдения требований СНиП 42-01. Прокладку газопровода снаружи здания следует предусматривать открытой.

3. Установку теплогенераторов разрешается предусматривать:
 - ✓ для теплоснабжения квартир — в кухнях или в специально выделенных помещениях — теплогенераторных;
 - ✓ для теплоснабжения помещений общественного назначения — в специально выделенных помещениях (теплогенераторных).
4. Помещение теплогенераторной должно отвечать следующим требованиям:
 - ✓ размещаться у наружной стены жилого дома и иметь окно с площадью остекления из расчета 0,03 м² на 1 м³ объема помещения, с форточкой или другим специальным устройством для проветривания, расположенным в верхней части окна;
 - ✓ объем помещения должен определяться исходя из условий обеспечения удобства эксплуатации котлов и производства монтажных и ремонтных работ, но не менее 15 м³;
 - ✓ высота — не менее 2,2 м;
 - ✓ вентиляция теплогенераторной должна проектироваться в соответствии с требованиями СНиП 41-01;
 - ✓ теплогенераторная для помещений общественного назначения, кроме того, должна иметь защиту от несанкционированного проникновения с выводом сигнала в диспетчерский пункт или в помещение с телефонной связью и постоянным пребыванием персонала.
5. Противопожарную защиту помещений теплогенераторных следует предусматривать в соответствии с требованиями СНиП 21-01, СНиП 31-01 и СНиП 2.04.01.
6. Не допускается проектирование теплогенераторных, расположенных непосредственно над, под или смежно с жилыми помещениями квартир и помещениями общественного назначения с пребыванием людей от 50 и более, а также в подвалах.
7. Установку теплогенераторов в помещениях следует предусматривать:
 - ✓ у стен (напольные) или на стенах (настенные) из негорючих (НГ) или слабогорючих (Г1) материалов;
 - ✓ у стен или на стенах из горючих материалов с покрытием негорючими (НГ) или слабогорючими (Г1) материалами (например: кровельной сталью по листу теплоизоляционного слоя из негорючих материалов толщиной не менее 3 мм; известковой штукатуркой толщиной не менее 10 мм) на расстоянии не ближе 3 см от стены. Указанное покрытие стены должно выступать за габариты корпуса котла не менее чем на 10 см.
8. Покрытие пола под напольным теплогенератором должно быть из материалов группы горючести НГ или П. Такое покрытие пола должно выступать за габариты корпуса теплогенератора не менее чем на 10 см.
9. При размещении теплогенераторов следует учитывать положения инструкции по монтажу и эксплуатации предприятия-изготовителя.
10. Размещение котла над газовой плитой и кухонной мойкой не допускается.
11. Перед фронтом котла должна быть зона обслуживания не менее 1,0 м. Расстояние по горизонтали между выступающими частями котла и оборудованием (кухонным) следует принимать не менее 10 см.

ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА ЕДИНИЦ ДАВЛЕНИЯ
(ПРИЛОЖЕНИЕ 2)

ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА ЕДИНИЦ ДАВЛЕНИЯ

Единицы СИ — Инженерные единицы (основаны на метрической системе)

на в		Единицы СИ					Инженерные единицы				
		бар	мбар	Па	кпа	Мпа	мм рт. ст.	ммВС	кг/мм ²	кг/см ²	атм
Единицы СИ	1 бар	1	10 ³	10 ⁵	100	0.1	750.064	10.1972 · 10 ³	10.1972 · 10 ⁻³	1.01972	0.986923
	1 мбар	10 ⁻³	1	100	0.1	0.1 · 10 ⁻³	750.064 · 10 ⁻³	10.1972	10.1972 · 10 ⁻⁶	1.01972 · 10 ⁻³	0.986923 · 10 ⁻³
	1 мкбар	10 ⁻⁶	10 ⁻³	0.1	0.1 · 10 ⁻³	0.1 · 10 ⁻⁶	750.064 · 10 ⁻⁶	10.1972 · 10 ⁻³	10.1972 · 10 ⁻⁹	1.01972 · 10 ⁻⁶	0.986923 · 10 ⁻⁶
	1 Па	10 ⁻⁵	0.01	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	7.50064 · 10 ⁻³	101.972 · 10 ⁻³	101.972 · 10 ⁻⁹	10.1972 · 10 ⁻⁶	9.86923 · 10 ⁻⁶
	1 кпа	0.01	10	10 ³	1	10 ⁻³	7.50064	101.972	101.972 · 10 ⁻⁶	10.1972 · 10 ⁻³	9.86923 · 10 ⁻³
	1 Мпа	10	10 · 10 ³	10 ⁶	10 ³	1	7.50064 · 10 ³	101.972 · 10 ³	101.972 · 10 ⁻³	10.1972	9.86923
Инженерные единицы	1 мм рт. ст.	1.33322 · 10 ⁻³	1.33322	133.322	133.322 · 10 ⁻³	133.322 · 10 ⁻⁶	1	13.5951	13.5951 · 10 ⁻⁶	13.5951 · 10 ⁻³	1.31579 · 10 ⁻³
	1 ммВС	98.0665 · 10 ⁻⁶	98.0665 · 10 ⁻³	9.80665	9.80665 · 10 ⁻³	9.80665 · 10 ⁻⁶	73.5561 · 10 ⁻³	1	10 ⁻⁶	0.1 · 10 ⁻³	96.7841 · 10 ⁻⁶
	1 мВС	0,098	98.0665	9.80665 · 10 ³	9.80665	9.80665 · 10 ⁻³	73.5561	10 ³	10 ⁻³	0.1	96.7841 · 10 ⁻³
	1 кг/мм ²	98.0665	98.0665 · 10 ⁻³	9.80665 · 10 ⁶	9.80665 · 10 ³	9.80665	73.5561 · 10 ³	10 ⁶	1	100	96.7841
	1 кг/см ²	0.980665	98.0665 · 10 ³	98.0665 · 10 ³	98.0665	98.0665 · 10 ⁻³	735.561	10 · 10 ³	0.01	1	0.967841
	1 атм	1.01325	1.01325 · 10 ³	101.325 · 10 ³	101.325	101.325 · 10 ⁻³	760	10.3323 · 10 ³	10.3323 · 10 ⁻³	1.03323	1

Единицы давления:

1 Па = 1 Н/м²

0,01 Па = 1 мбар

1 кг/см² = 1 ат (атм)





ООО «Компания МВ»
www.masterwatt.ru

г. Москва
Открытое шоссе, д. 18, стр. 1
☎ +7 (495) 730-22-99
pochta@masterwatt.ru

г. Самара
ул. 3-й проезд, д. 37
☎ +7 (846) 260-56-77
samara@masterwatt.ru

г. Пермь
ул. Леонова, д. 41
☎ +7 (342) 223-52-02
perm@masterwatt.ru