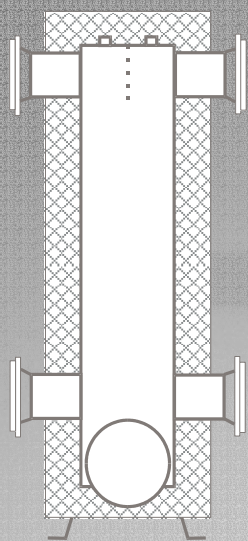


Сведения о технике и окружающей среде



Training

Связи установок – динамика установок

- Основные гидравлические схемы
- Открытый / Закрытый распределитель
- Гидравлический разделитель



1	Основные гидравлические схемы	5
1.1	Смесители	5
1.1.1	Трехходовые смесители	5
1.1.2	Теплоизоляционная петля.....	7
1.1.3	Регулирование смеси (основная схема)	7
1.1.4	Регулирование расхода (основная схема)	8
1.1.5	Четырехходовые смесители.....	8
1.1.6	Длительности импульсов на примере VRC calormatic MF	10
1.1.7	Выбор размеров смесителей	11
1.2	Схемы защиты котлов	
1.2.1	Повышение температуры обратной воды - Узел подмешивания в котле Подмешивающий насос с гравитационным тормозом и термостатом	16
1.2.2	Регулировка повышения температуры обратной воды.....	21
1.2.3	Регулировка повышения температуры обратной воды с помощью центрального устройства Vaillant VRC-CM.....	22
1.2.4	Регулировка повышения температуры обратной воды с помощью регулятора MF и гидравлической стрелки как альтернативы для установок с несколькими котлами	23
1.2.5	Повышение температуры обратной воды с помощью узла подмешивания в котле - 2 контура отопления с регулировкой смесителей и комплектом VRC calormatic MF	26
1.3	Циркуляционный насос системы отопления	29
1.3.1	Расчетная или номинальная производительность	31
1.3.2	Расчетный или номинальный напор Н	31
1.3.3	Графическая характеристика установок H_A	32
1.3.4	Графическая характеристика насоса	34
1.3.5	Рабочая точка	35
1.3.6	Правильный выбор насоса	36
1.3.7	Насос с электронным регулированием	38
1.4	Байпасный клапан перепада давления	
2	Открытый / Закрытый распределитель	43
2.1	Открытый распределитель (безнапорный распределитель)	43
2.1.1	Указания по проектированию и определению параметров.....	44
2.2	Закрытый распределитель (распределение без напорного насоса)	46
2.2.1	Указания по проектированию и определению параметров.....	47

3	Гидравлический разделитель	
3.1	Области применения в различных системах отопления	
3.2	Ситуации при эксплуатации.....	
3.2.1	Объемный поток контура котла $V_{\text{primär}}$ равен объемному потоку контура потребителей $V_{\text{sekundär}}$	
3.2.2	Объемный поток контура котла $V_{\text{primär}}$ больше, чем объемный поток контура потребителей $V_{\text{sekundär}}$	
3.2.3	Объемный поток контура котла $V_{\text{primär}}$ меньше, чем объемный поток контура потребителей $V_{\text{sekundär}}$	1
3.3	Выбор параметров и таблицы размеров	
3.4	Пример: расчет гидравлического разделителя	
3.5	Проблемные случаи из практики	
4	Физические основы	49
4.1	Удельная теплоемкость	49
4.2	Тепловая мощность	50
4.3	Пересчет единиц	50
4.4	Расчет смешанной воды.....	50

1 Основные гидравлические схемы

1.1 Смеситель

Смеситель можно рассматривать как связующее звено между отопительным котлом и системой теплоснабжения. Его функция - добавлять к поступающей из котла в подающую линию горячей воде более или менее холодную воду из обратной линии - до тех пор, пока в подающей линии не будет достигнута температура, необходимая для поддержания температуры в помещении на постоянном уровне.

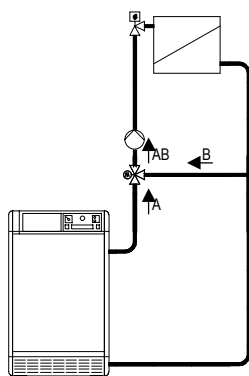
Так как температура наружного воздуха постоянно меняется, для постоянства температуры в помещении температура в подающей линии – а значит и положение смесителя - также должны постоянно меняться.

Преимущества смесителя:

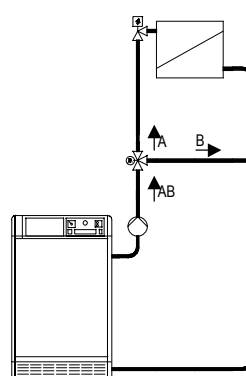
- Обеспечение различных температурных требований для различных контуров системы теплоснабжения
- Обеспечение потребителей от котельной с не скользящим режимом работы
- Реализация специальных схем защиты котлов

1.1.1 Трехходовые смесители

Трехходовые смесители имеют 3 присоединения и могут использоваться либо для смешения двух потоков воды с различными температурами (регулирование смеси), либо для распределения 2 потоков воды (регулирование расхода). На рисунке показаны оба варианта:



*Регулирование смеси
(правое подключение)*



Регулирование расхода

Затвор А (регулирующий затвор):

С его помощью него регулируется тепловая мощность нагрузки (вывод для участка трассы с переменным расходом).

Затвор В (байпасный затвор):

Через него происходит подгонка (вывод для дополнительного участка трассы с переменным расходом).

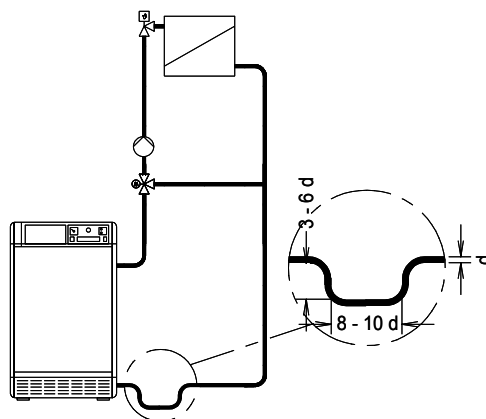
Затвор С:

Представляет собой вывод для участка трассы с постоянным расходом ("суммарный поток").

	Регулирование смеси	Регулирование расхода
Расположение насоса	Насос во вторичном контуре	Насос в первичном контуре
Постоянный расход	Контур нагрузки	Контур котла
Переменный расход	Контур котла	Контур нагрузки
Температура в контуре нагрузки	Плавающая (хорошая подгонка)	Постоянно высокая температура (при холодной воде - постоянно холодная)
Применение	Используется во всех системах отопления; экономичный режим При отоплении с теплым полом с подключенным байпасом.	Бассейновый теплообменник при воздухонагревателе с малой торцевой поверхностью и разностью температур

Сопоставление регулирования смеси и регулирования расхода

1.1.2 Теплоизоляционная петля



Установка трехходового смесителя с теплоизоляционной петлей

В обратном трубопроводе котла должна быть теплоизоляционная петля глубиной от 3 до 6 диаметров трубы и длиной от 8 до 10 диаметров трубы. Это поможет при закрытом трехходовом смесителе предотвратить нежелательный нагрев нагревательного контура через рециркуляционную трубу.

По-другому это называется *циркуляция “труба в трубе”*.

1.1.3 Регулирование смеси (основная схема)

При регулировании смеси в контуре нагрузки меняется не расход воды, а температура воды в подающей линии.

Преимущества:

- Предпосылка экономичного и устойчивого регулирования; например, электронное регулирование температуры воды в подающей линии в зависимости от погоды.

1.1.4 Регулирование расхода (основная схема)

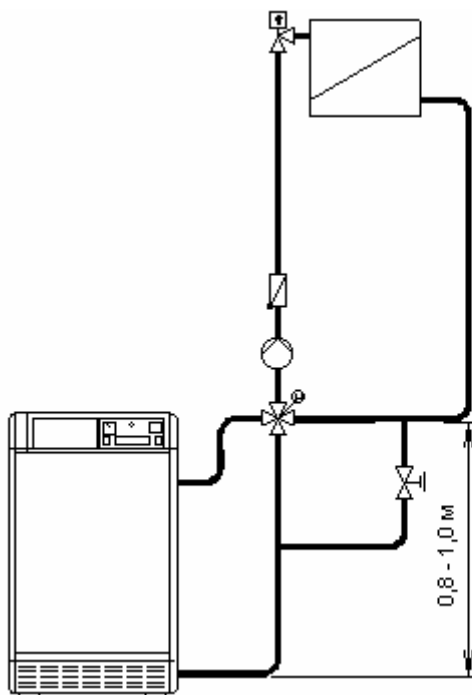
При регулировании расхода в контуре нагрузки меняется не температура подаваемой воды, а ее расход.

Преимущества:

- Источник постоянного тока производительность в электрической цепи котла
- Только обеспечивающий циркуляцию насос; также тогда, когда многочисленные нагрузки переключаются параллельно

1.1.5 Четырехходовые смесители

Четырехходовые вентили работают принципиально как смесители (регулирование температуры).



Основная схема включения четырехходового смесителя

На рисунке ясно показано, что с помощью смесителя система отопления гидравлически разделяется на два контура - контур котла и контур отопления. Как и в трехходовом смесительном вентиле, в нем смешивается горячая вода от котла и более холодная обратная вода для совместной подачи в систему отопления. Требуемая температура регулируется в зависимости от температуры наружного воздуха и установленной отопительной характеристики.

Изображенная на рисунке малая по размеру линия выравнивания давления при плотно закрытом четырехходовом смесителе и при остывающем отопительном контуре предотвращает образование пониженного давления и связанное с ним всасывание воздуха.

Чтобы собственная циркуляция в контуре котла происходила с повышением температуры обратной воды, должен присутствовать участок подъема на 0,8 - 1 м (от подключения обратной линии к котлу до подключения смесителя к подающей линии котла).

При недостатке места можно также увеличить размер смесителя и номинальный внутренний диаметр труб контура котла.

Преимущества четырехходовых смесителей:

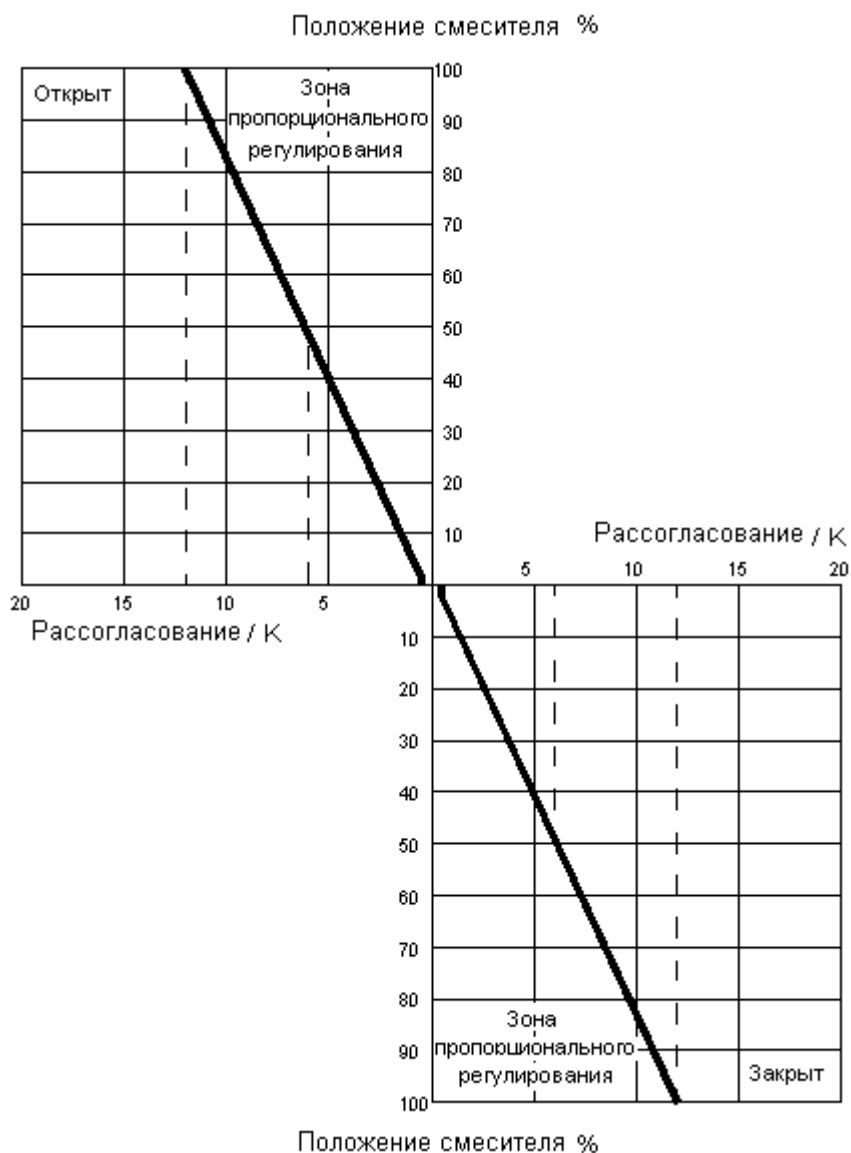
- В контуре котла всегда достаточно большой расход
- Возможность в широком диапазоне регулировать повышение температуры обратной воды – за исключением фазы пуска
- Частичные потоки полностью отделены друг от друга, это предотвращает аномальные циркуляции
- Беспроблемная установка в качестве исполнительного элемента недостаточного регулирования при нагрузке распределителей давлением насоса

Циркуляция в первичном контуре и связанное с ней повышение температуры в обратном трубопроводе котла зависит от:

- Гравитационной циркуляции в контуре котла
- воздействия инжекции из вторичного контура, которое зависит, прежде всего, от положения клапана, его формы и от скорости воды.

Важное повышение температуры обратной воды незначительно именно при слабой нагрузке. При малом отверстии смесителя и, соответственно, малом расходе обратной воды в котел незначительно и воздействие инжекции. На более мощных отопительных системах повышение температуры воды в обратном трубопроводе котла при пуске не может быть обеспечено только с помощью четырехходовых смесителей.

1.1.6 Длительности импульсов на примере VRC calormatic MF



Регулировочная характеристика контура смесителя

Если действующая температура в контуре смесителя отличается от температуры, требуемой регулятором, больше чем на +/-0,5 К, то смеситель с помощью двигателя управляется импульсами переменной длительности включения (ED).

Длительность включения (сигнал по напряжению для "откр." или "закр.") зависит от рассогласования, т.е. от разности между действующей и заданной температурой в подающей

линии, а также от уставки пределов пропорционального регулирования (P).

В заводской уставке пределов P (12 K) смеситель при рассогласовании 12 K и более открывается или закрывается с соотношением включения 100%.

Если рассогласование составляет, например, 6 K, то при той же уставке пределов P смеситель открывается или закрывается с соотношением включения 50%. При вышеназванном рассогласовании +/-0,5 K речь идет о мертвой зоне, в которой смеситель, несмотря на рассогласование, не открывается и не закрывается.

Так как период повторения импульсов продолжительностью около 20 сек. всегда постоянен, это значит, что смеситель на 10 сек. открывается или закрывается, а остальные 10 сек. находится в исходном состоянии.

1.1.7 Выбор размеров смесителей

Диаграмма планирования смесителя на следующей странице используется следующим образом:

Например: радиаторы 70/50, $\Delta t = 20$ K

- Отыскивают на диаграмме тепловой поток Q (кВт).
- Двигаются вертикально вверх до точки пересечения с соответствующей линией Δt . На вертикальной оси слева можно прочесть объемный расход V (литры/час).
- От точки пересечения с линией Δt двигаются вправо до растрового поля (0,7 - 1,1 м/сек). Здесь попадают на определенную линию номинальных внутренних диаметров. Этот номинальный внутренний диаметр смесителей нужно выбрать. В особых случаях при определении номинальных внутренних диаметров можно доходить до пределов скорости 0,3 и соответственно 1,25 м/сек.
- От этой точки пересечения двигаются вниз. Падение давления в смесителе считывают в миллибарах.

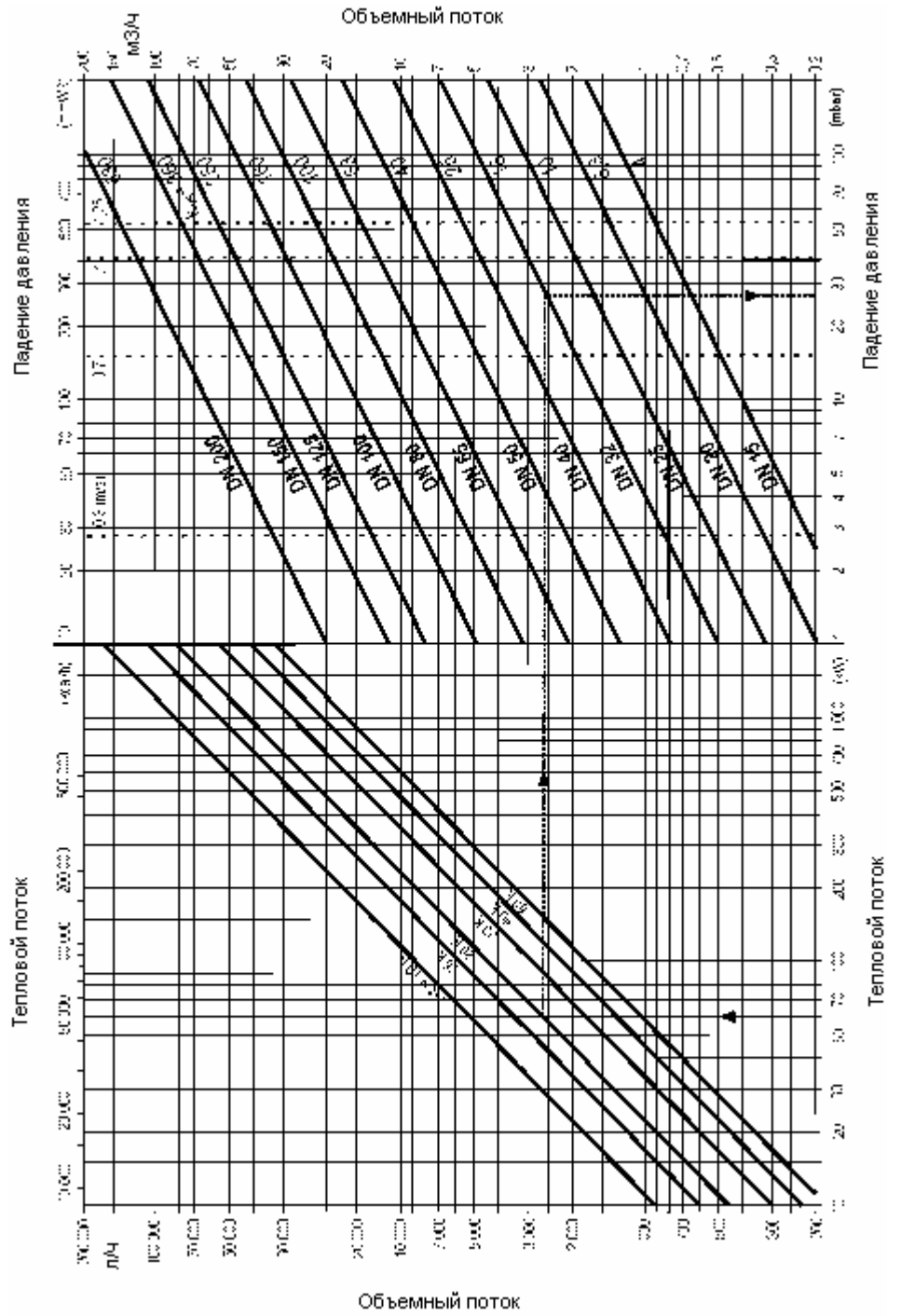


Диаграмма проектирования смесителя

Пример выбора размеров смесителя:

Объемный расход:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_w \cdot \Delta t} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Q = тепловая мощность в кВт

C_w (удельная теплоемкость) = 1,163 Wh / kg*K

Δt = разность температур в градусах Кельвина, которая должна действовать в установке

Пример:

Тепловая мощность Q = 60 кВт

$$\Delta t = 20 \text{ K}$$

Объемный расход:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{1,163 \cdot \Delta t} = \frac{60}{1,163 \cdot 20} = 2,58 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Из диаграммы:

Смеситель DN 32 (номинальный внутренний Ø NW 32) (1¼ ")

Падение давления 26 мбар

1.2 Схемы защиты котлов

Цель повышения температуры обратной линии котла - это защита котла от коррозии при конденсации влаги. Опасность конденсации особенно велика в следующих случаях:

- При пуске установки или при внезапных больших запросах на тепло, как, например, после предшествовавшего ночного понижения
- При больших группах установок с большим содержанием воды, к которым прерывисто подключаются большие группы потребителей

т.е. в принципе каждый раз, когда в котел возвращается вода со слишком низкой температурой. Критическая температура поступающей в котел обратной воды зависит от конструкции горелки и котла.



Точка росы водяного пара газообразных отходов при различных коэффициентах избытка воздуха

С учетом конструкции воздухоудовки и получающихся из этого коэффициентов избытка воздуха, точку росы можно установить с помощью диаграммы. При этом еще не учитывается конструкция котла.

Примечание: коэффициент избытка воздуха у дутьевой горелки VKB составляет примерно 1,2, а у атмосферной горелки VK - 2,0.

Если учитывать конструкцию котла, то получается дальнейшая минимизация точки росы и можно вывести следующий критерий:

Общее требование для всех обычных отопительных котлов Vaillant:

Если требуется повысить температуру обратной воды, то нужно предусмотреть минимальную температуру обратной воды примерно 40 °С.

При долгом нахождении при температуре ниже точки росы возникающая масса конденсационной влаги может вызывать коррозионные повреждения. Это значит, что котлы, которые эксплуатируются в термически инерционной установке, должны иметь защиту от долгого пребывания ниже точки росы.

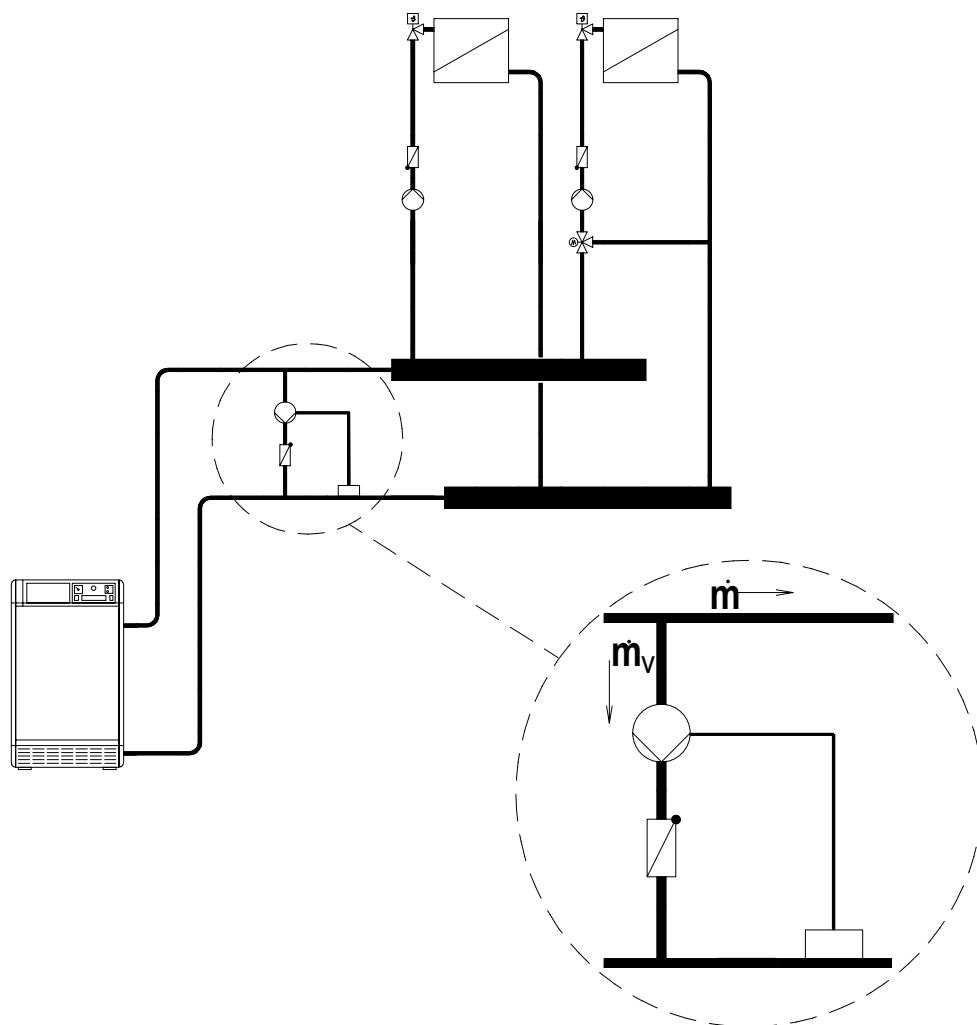
Систему отопления следует обозначать как термически инерционную, если содержание воды в полной отопительной системе по отношению к производительности котла больше, чем 15 литров/киловатт

Если система термически инерционна, то температуру поступающей в котел обратной воды необходимо повышать. При всех схемах речь идет о том, чтобы поток горячей питательной воды котла полностью или частично направить в обратный трубопровод так, чтобы температура поступающей в котел обратной воды была не ниже требуемой. Способы реализации этого решения, а также их преимущества и недостатки представлены далее.

При выборе и расчете подъема температуры обратной воды нужно обратить внимание на то, чтобы не превышалась максимальная разность температур. Максимальная разность температур зависит от материала теплообменника.

Для чугунных отопительных котлов максимальная разность температур составляет около 30 К, для стальных – около 50 К.

1.2.1 Повышение температуры обратной воды – Узел подмешивания в котле (Подмешивающий насос с гравитационным тормозом и термостатом)



Повышение температуры обратной воды с помощью узла котлового подмешивания

Узел котлового подмешивания предназначен для поддержания температуры поступающей в котел обратной на достаточно высоком уровне, чтобы температура поверхности котла со стороны дымовых газов была выше точки росы. Узел подмешивания состоит из подмешивающего насоса, гравитационного тормоза и термостата. Узел подмешивания включается, если температура обратной воды опускается ниже заданной на термостате.

Производительность подмешивающего насоса рассчитывается в зависимости оттого, что требуется для предусмотренного отопительного котла - минимальный объемный поток или минимальная температура обратной воды.

Пример:

На примере VK 60-2 E и VKB 150, производительность (\dot{m}_v) Veimischpumpe рассчитывается.

а) Теоретический расчет по критерию минимального объемного потока VK 60-2 E (чугунный котел) - 60 кВт:

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{Q}}{c_w \cdot \Delta t} \quad \dot{m}_v = \frac{60000W}{1,163 \frac{Wh}{kg \cdot K} \cdot 30K} \approx 1720 \frac{kg}{h}$$

VKB 150 (теплообменник из нержавеющей стали):

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{Q}}{c_w \cdot \Delta t} \quad \dot{m}_v = \frac{150000W}{1,163 \frac{Wh}{kg \cdot K} \cdot 50K} \approx 2580 \frac{kg}{h}$$

б) Теоретический расчет по критерию минимальной температуры поступающей в котел обратной воды:

Условие:

Примерно 66% всего необходимого потока в контуре отопления, определяет объемный поток для подмешивающего насоса (\dot{m}_v).

Котельная установка должна эксплуатироваться при перепаде температуры $\Delta t=20K$.

Нагрузка VK 60-2 E составляет 60 кВт:

$$\dot{m}_v = \dot{m} \cdot 0,66$$

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{Q}}{c_w \cdot \Delta t} \cdot 0,66 \quad \dot{m}_v = \frac{60000W}{1,163 \frac{Wh}{kg \cdot K} \cdot 20K} \cdot 0,66 \approx 1700 \frac{kg}{h}$$

Нагрузка VKB 150 составляет 150 кВт::

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{Q}}{c_w \cdot \Delta t} \cdot 0,66 \qquad \dot{m}_v = \frac{150000 \text{ W}}{1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 20\text{K}} \cdot 0,66 \approx 6450 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Резюме результатов (в килограмм / h):

Критерий	VK 60 E	VKB 150
Минимальный объемный поток	B 1720	2 580
Минимальная температура обратной воды	B 1700	6 450

Сравнение объемных потоков узлов подмешивания обоих котлов (чугун / сталь) с учетом обоих критериев приводит к заключению, что подмешивающий насос при котле VK следует рассчитывать по критерию минимального объемного потока, а котел VKB - по критерию минимальной температуры обратной воды.

Однако, повышение температуры обратной воды с помощью узла подмешивания, особенно при пуске, следует оценивать как критическое.

Это поясняется следующим примером:

Ориентировочный расчет отношения массовых потоков $\frac{\dot{m}_v}{\dot{m}}$ (объемного потока подмешивающего узла к объемному потоку контура нагрузки) при пуске отопительной системы.

Расчетные	Температура воды из котла	$t_{VK} = 75^\circ\text{C}$
данные:	Темп. обратной воды в котел	$t_{rK} = 55^\circ\text{C}$
	Темп. подачи в линию отопления	$t_v = 70^\circ\text{C}$
	Темп. обратной воды из линии	$t_r = 50^\circ\text{C}$

$$\frac{\dot{m}_v}{\dot{m}} = \frac{(t_v - t_r) \cdot (t_{rK} - t_r)}{(t_{VK} - t_r) \cdot (t_{VK} - t_{rK})} \qquad \text{(Источники: X. Роос, Гидравлика водяного отопления)}$$

$$\frac{\dot{m}_v}{\dot{m}} = \frac{(70 - 50) \cdot (55 - 50)}{(75 - 50) \cdot (75 - 55)} = 0,2$$

Это значит, что через узел подмешивания должно проходить около 20% объемного потока отопительного контура. Это значение не следует оценивать как критическое. Однако если пуск системы отопления происходит после полного выключения и при высокой отопительной нагрузке, то температуру обратной воды из системы отопления следует принять не 50°C, а на уровне температуры в помещении 20°C. Кроме того, требуется соблюдать еще следующие параметры:

$$t_{rk} > 40 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{заданная температура для узла подмешивания})$$
$$t_{vk} < t_r + 30 \text{ K} \quad (\text{для чугунного котла})$$

При $t_r = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ориентировочный расчет приводит к следующему результату:

$$\frac{\dot{m}_v}{\dot{m}} = \frac{(50 - 20) \cdot (40 - 20)}{(50 - 20) \cdot (50 - 40)} \approx 2,0$$

Рассчитывать подмешивающий насос на эту высокую величину (2,0 x объемный поток контура нагрузки) не рационально. Помимо всего прочего это привело бы к значительному повышению потребления потока в отопительной системе.

Если сравнить принятое условие с расчетом подмешивающего насоса

$$\frac{\dot{m}_v}{\dot{m}} = 0,66$$

(примерно 66% необходимого полного объемного потока отопительной системы определяет объемный поток для них подмешивающего насоса), он не обеспечивает надежного повышения температуры обратной воды для всех эксплуатационных режимов.

Двухпозиционное ограничение переключением насоса, хотя достаточно просто, недорого и, как правило, подходит для режима продолжительной работы, однако, нужно обратить внимание на следующие моменты:

- Сильные колебания температуры и прерывистые нагрузки в контуре потребителей и в контуре котла. Лучшие результаты приносит непрерывное регулирование.
- При пуске системы, "подмешиваемой воды" не хватает для нагрева большого потока обратной воды, так что долгое время не удается достичь необходимого минимума температуры обратной воды. На этой фазе должны быть приняты меры, препятствующие тому, чтобы вся обратная вода из отопительных групп сразу снова поступала в котел.

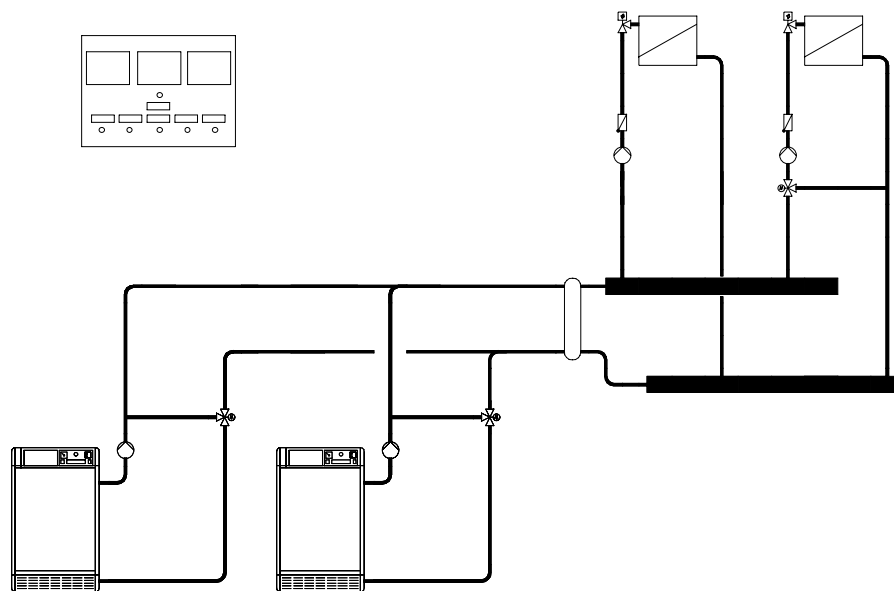
Резюме:

При использовании подмешивающего узла к котельной установке предъявляются следующие требования:

- В котле должна постоянно поддерживаться высокая температура.
- Котел нельзя полностью выключать в фазе понижения.
- Параллельно с работой циркуляционных насосов отопительной системы постоянно должен работать подмешивающий насос - до тех пор, пока при достижении 40°C его не выключит термостат. При температуре обратной воды ниже 40°C подмешивающий насос не выключается и работает постоянно.

С точки зрения автоматического регулирования простое встраивание подмешивающего узла в сочетании с низкотемпературными котлами, работающими в скользящем режиме, не рекомендуется.

1.2.2 Регулируемое повышение температуры обратной воды



Регулируемое повышение температуры обратной воды

На рисунке показано регулирование температуры поступающей в котел обратной воды с помощью отдельного трехходового смесителя, которым непрерывно управляет регулятор. Весь поток воды идет к группам потребителей только тогда, когда достигнута минимально необходимая температура поступающей в котел обратной воды. Первично регулируется только контур котла без учета системы отопления.

Объемный поток котла и температура поступающей в котел обратной воды можно точно регулировать. В установках с несколькими котлами такая регулировка может производиться для каждого отдельного котла.

1.2.3 Регулируемое повышение обратной воды центральное устройство Vaillant VRC-СМ

Регулируемое повышение температуры обратной воды, если не требуется никакой пульт управления, может быть обеспечено с помощью центрального устройства Vaillant VRC-СМ.

Функция:

При холодном пуске котельной установки к системе отопления подключается смеситель. Котел работает в малом цикле до тех пор, пока температура обратной воды не достигнет 40°C. При достижении этой температуры в установку посылается горячая вода путем постепенного закрытия подмешивания обратной воды, а в контур котла подмешивается холодная вода из системы отопления. Таким образом, подмешивания холодной воды из отопительного контура в контур котла весь объем воды в установке постепенно нагревается до заданной температуры. При достижении уставки по температуре обратной воды минимум в 40°C, регулирующий элемент открывается полностью.

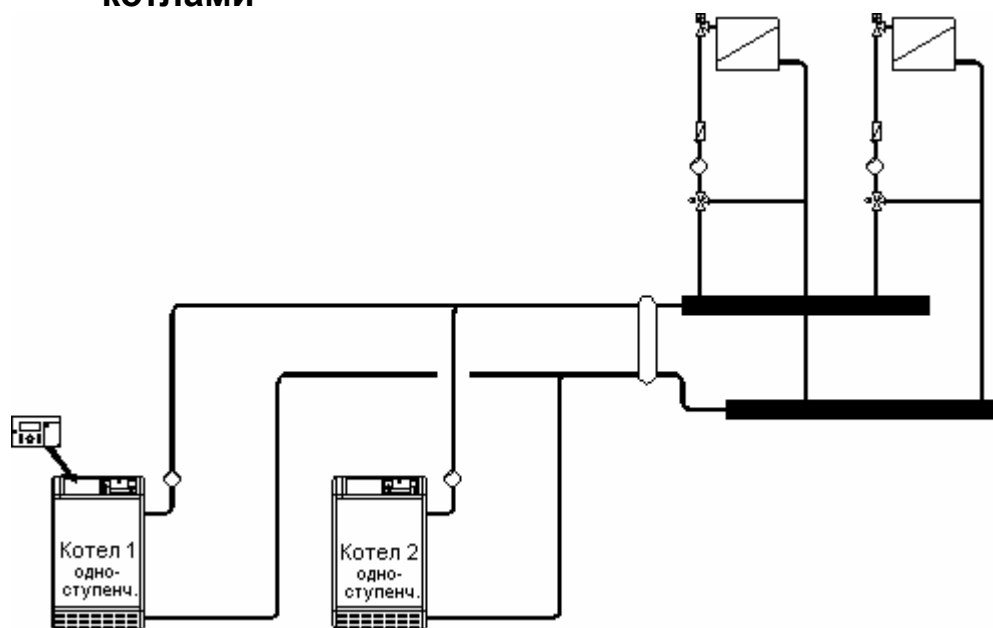
Этим переключением предотвращается понижение температуры в котле ниже точки росы в результате поступления в него слишком большого количества холодной воды, что, в конце концов, может привести к повреждениям котла.

Регулировка устройства

- VRC-СМ принципиально без таймера
- Режим эксплуатации – переключатель в положении "дневной режим"
- Ручки настройки для "дневного и ночного режима" на промежуточном положении
- Ручка установки отопительных кривых устанавливается на отопительную кривую III (температура обратной воды около 40°C)

Между клеммами 19 и 20 вместо датчика наружной температуры зажимается постоянный резистор (ET № 25 26 84; при 0°C 1600 ом).

1.2.4 Регулируемое повышение температуры обратной воды с помощью регулятора MF и гидравлического разделителя как альтернативы для установок с несколькими котлами



Повышение температуры обратной воды с помощью регулятора MF и гидравлического разделителя

Описание установки:

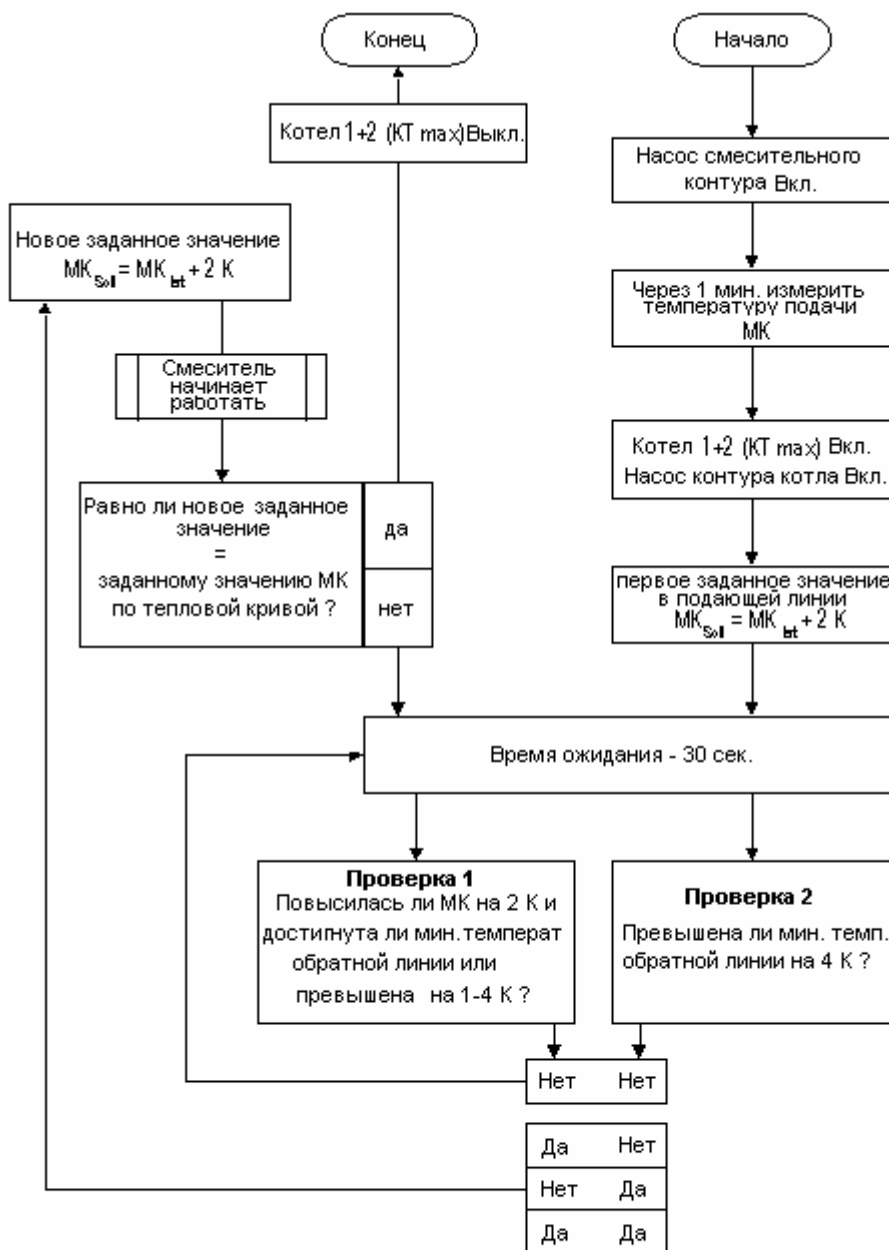
- два тепловых генератора
- Регулирование нагрева с помощью комплекта VRC calormatic MF в зависимости от погоды. Требуется задать соответствующий гидравлический план, установить минимальную температуру и активировать повышение температуры обратной воды.
- Повышение температуры обратной воды с помощью гидравлического разделителя
- 2 контура смесителей в качестве системы отопления

Пример планировки подан как гидравлический план 5 в многофункциональном регуляторе VRC calormatic MF и набирается через дисплей. Этот вид установок пригоден для установок с большим содержанием воды (например, переключаемые гравитационные системы отопления) и для

установок, которые эксплуатируются с низкотемпературными системами отопления, например, с теплым полом. Для повышения температуры обратной воды каждый котел оборудуется насосом котельного контура. Смесители контура отопления управляются регулятором MF таким образом, что в фазе разогрева установки (из холодного состояния) котлы нагреваются сначала в малом контуре через гидравлический разделитель до установленной температуры обратной воды.

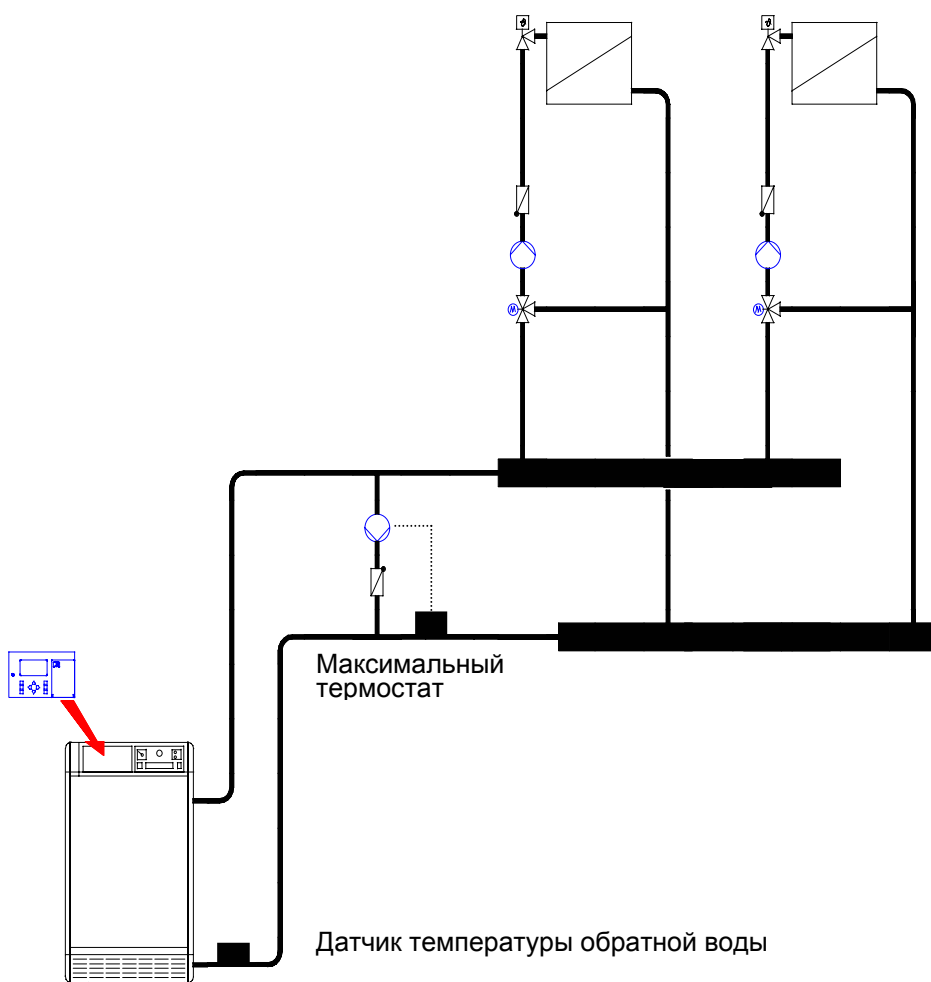
Только после этого смесители постепенно открывают линии подачи в отопительную систему. Таким образом, котельный контур регулируется в зависимости температуры поступающей в котел обратной воды и от температур контура отопления. Объемный поток и температура обратной воды в контуре котла, объемный поток установки и температуры в контуре отопления можно точно регулировать.

Гидравлическая развязка между котлами осуществляется с помощью двух насосов с гравитационными тормозами.



Временная последовательность повышения температуры обратной воды

1.2.5 Повышение температуры обратной воды с помощью узла котлового подмешивания – 2 отопительных контура с управлением смесителей и комплектом VRC calormatic MF



Газовый отопительный котел VK ...-2 с комплектом VRC calormatic MF, повышением температуры обратной воды, 2 контурами отопления и управлением смесителей

Описание установки:

Пример планировки хранится в многофункциональном регуляторе VRC calormatic MF как „гидравлический план 6“ и выбирается через дисплей. Этот вид установок пригоден для установок с большим содержанием воды (например, переключаемые гравитационные системы отопления) и для установок, которые эксплуатируются с низкотемпературными системами отопления, например, с теплым полом. Максимальный термостат служит только как термореле для включения и выключения подмешивающего насоса. Регулирование температуры поступающей в котел обратной воды производится с помощью регулятора MF в сочетании с датчиком температуры обратной воды в контуре котла и смесителями в контуре отопления. Если при нормальном отопительном режиме температура обратной воды опускается ниже минимальной температуры котла, например, при включении дополнительных радиаторов или при очень низких уставках отопительного контура, то производится принудительное включение котлов на максимальную температуру в течение длительного времени. Дальнейшая регулировка до нормального уровня производится в контурах смесителей. Это действительно также и для гидравлического плана 5 с задействованным повышением температуры обратной воды. Заданная температура котла считается подходящей для нормального отопления только тогда, когда температура обратной воды выше, чем уставка +4 К

Если температура обратной воды в установке выше, чем установленная в термостате уставка, насос байпаса выключается.

Присутствующая в регуляторе MF "логика насоса", например, функция отключения при отсутствии запроса на тепло, также действенна.

(Энергосберегающая функция E)

Узел подмешивания в обратной линии для VK/VKM:

Размер котла	VK 60-2E VK 72-2E VK 84-2E	VK 96-2E VK 108-2E	VK 120-2E VK 132-2E VK 144-2 E VK 156-2 E
Насос	UPS 25-40	UPS 25-60	UPS 32-55
Режим работы насоса: 1 ступень	VK 60-2E VK 72-2E	VK 96-2E	
Режим работы насоса: 2 ступень	VK 84-2E	VK 108-2E	все 4 размера
Номер заказа	009 732	009 733	009 734

Эта возможность повышения температуры обратной воды представляет собой приемлемую по расходам и по монтажу альтернативу для однокотельных установок с устройством VRC calormatic MF. Условием является то, что в контурах отопления речь идет исключительно о подгруппах смесителей (максимально 2). Затем контур котла регулируется в зависимости от температуры поступающей в котел обратной воды и от температур контура отопления. При этом можно точно регулировать объемный поток и температуру обратной воды в контуре котла, объемный поток установки и температуры в контуре отопления. Старые установки легко увязываются по гидравлике, при этом можно продолжать использовать старые контуры смесителей.

Развязки гидравлическими разделителями не требуются.

1.3 Циркуляционный насос системы отопления

Сегодня использование циркуляционного насоса в системе отопления стал само собой разумеющимся явлением, так же как и то, что его характеристиками являются:

- Незначительное потребление энергии
- Бесшумность
- Долгий срок службы
- Отсутствие необходимости обслуживания
- Регулируемость
- Невысокая цена

Однако для удовлетворения этих ожиданий циркуляционный насос системы отопления предъявляет к системе определенные требования, которые должны быть учтены уже на этапе проектирования установки.

Важным требованием при расчете насоса является гидравлическое согласование. Если это требование не будет выполнено, то до выхода насоса из строя дело, может быть, и не дойдет, но появятся проблемы, которые могут привести к рекламациям. Это может обернуться недостаточным или избыточным теплоснабжением потребителей, шумовыми нагрузками и повышенным потреблением энергии.

Особенно часто в первом случае – при недостаточном теплоснабжении - насос заменяют на более мощный, в результате чего лишь усугубляются другие проблемы. Сегодня все больше делаются попытки устранять эти трудности с помощью регулируемого насоса. К заключению о том, что желаемый результат таким путем удастся получить далеко не всегда, часто приходят только тогда, когда уже сделаны большие капиталовложения.

Использование регулируемого насоса имеет смысл только в том случае, если выполнены следующие условия:

- установлен подходящий насос
- установка имеет гидравлическое согласование
- регулирование соответствует типу системы и способу эксплуатации здания

Если в первых радиаторах "свистит", а в конце установки тепла нет, то эту проблему не решит ни вставной блок регулирования, ни другой насос, а только гидравлическое согласование сети трубопроводов:

Перегреваемые потребители должны быть задресселированы, чтобы даже последний радиатор получал необходимый расход воды.

1.3.1 Расчетная или номинальная производительность m

Для расчета необходимого объемного потока системы отопления должна быть известна номинальная отопительная нагрузка.

Если не принимать во внимание влияние температуры среды, то получается следующее уравнение числовых значений:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_w \cdot \Delta t} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

При расчете производительности исходят из одновременной нагрузки всех радиаторов.

1.3.2 Расчетный или номинальный напор H

Для насосов во всем мире принято указывать напор H [м], так как эта величина является *независимой от плотности* (?).

При температурах и перепадах давления, обычных для систем отопления, напор можно упрощенно представить как:

$$\Delta p = \frac{H}{10} \quad [\text{bar}]$$

$$\Delta p = 10000 \cdot H \quad [\text{Pa}]$$

При полной нагрузке установки насос при номинальной производительности должен быть способен создать перепад давлений, достаточный для того, чтобы даже потребитель, находящийся в самом невыгодном положении, снабжался объемным потоком, соответствующим своей расчетной производительности.

Таким образом, номинальный напор при номинальной производительности следует из перепада давлений, который получают из расчета сети трубопроводов, т.е. суммы сопротивлений трения трубы и отдельных сопротивлений в самой невыгодных местах.

Уже при проектировании сети трубопроводов проектировщик имеет возможности предотвращения многих проблем, которые могут возникнуть позже при эксплуатации установки,

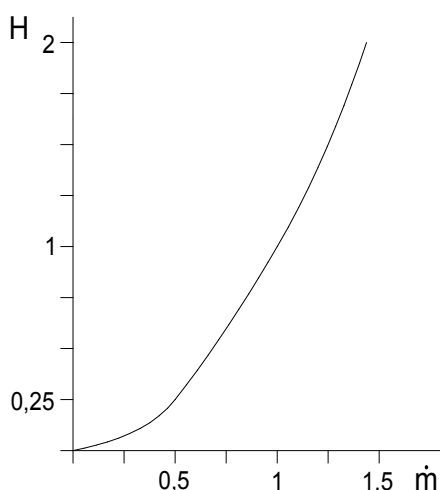
например, шумы и слишком высокие производственные расходы. В контуре системы отопления, как двухтрубная система выполненный, клапан термостата устанавливает граничные условия для расчета сети трубопроводов и насоса. Довольно часто влияние диаметра труб на гидравлическое сопротивление недооценивается.

Следует всегда иметь в виду:

При выборе сети трубопроводов на один размер больше, сопротивление уменьшается лишь на одну четверть.

1.3.3 Характеристика установок H_A

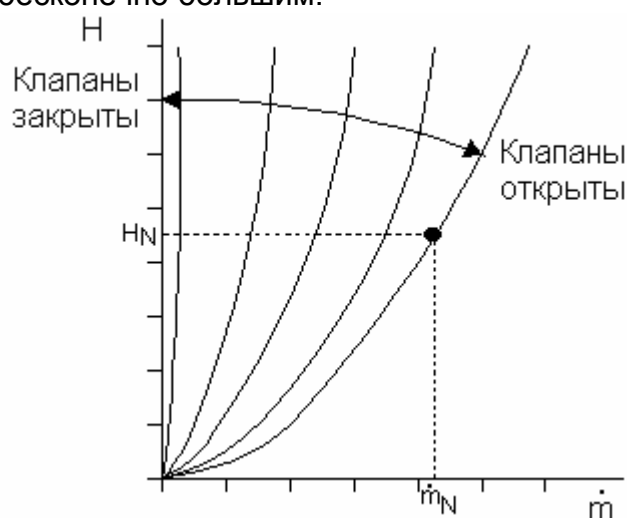
В течение отопительного сезона система отопления имеет бесконечно много рабочих режимов. Каждому из этих режимов соответствует определенная характеристика установки, которую едва ли можно установить теоретически. Основой выбора насоса является состояние полной нагрузки, т.е. та характеристика установки, которая определяется обеими величинами m и H .



Характеристика установки H_A (\dot{m})

При различных сетях трубопроводов получаются параболы с различной крутизной.

Состояние частичной нагрузки в системах отопления достигается, как правило, дросселированием клапанов термостата. При этом сопротивление в клапане термостата возрастает, и кривая становится круче. При нулевой производительности характеристика приобретает вид вертикальной линии, поскольку сопротивление становится бесконечно большим.



Изменение характеристики установки

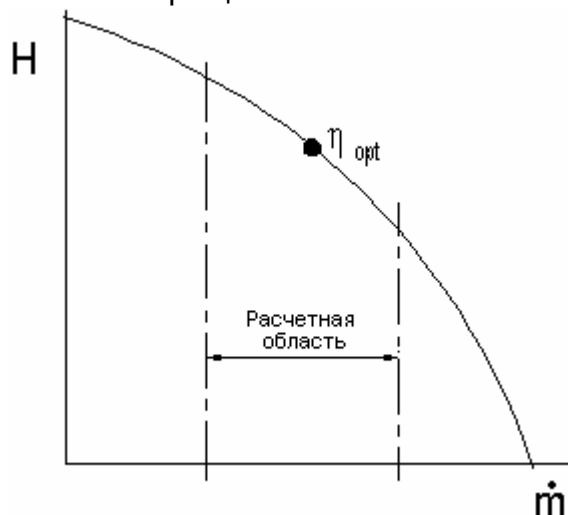
Теоретическая и действительная характеристика установки в большинстве случаев отличаются. Одной из причин этого может быть изменение разводок труб.

Определить фактическое сопротивление в имеющейся сети трубопроводов можно только одним способом – с помощью измерительного насоса.

На небольших установках (низкотемпературные установки мощностью до 60 кВт, например, в оздоровительных учреждениях), используется измерительный насос с установленным на нем манометром перепада давлений. На измерительном насосе считывается разность давлений и по расчетной таблице, поставляемой производителем насоса, определяется требуемый насос.

1.3.4 Характеристическая кривая насоса

Напор и потребляемая мощность циркуляционных насосов в системах отопления обусловлены производительностью и частотой вращения.



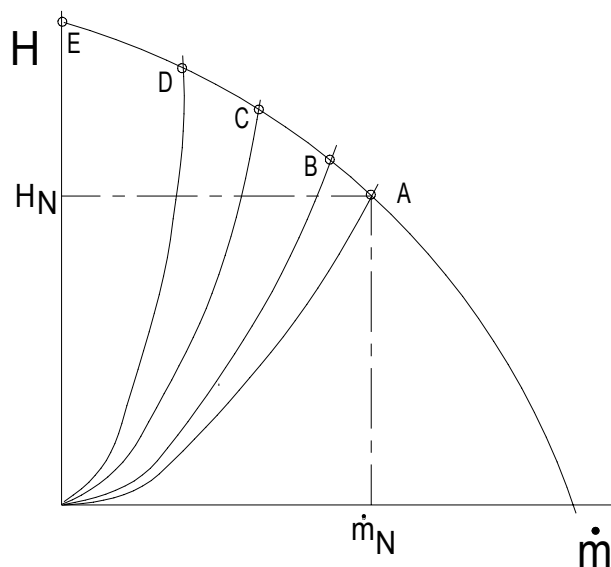
Характеристическая кривая циркуляционного насоса

В точке η_{opt} насос имеет оптимальную эффективность. В более новых документах расчетный диапазон насоса поднимается за счет сильного вытягивания характеристики. Форма характеристики циркуляционного насоса зависит от того, для какой точки эффективности насос рассчитан. При сравнении нескольких насосов для одинаковых условий эксплуатации, необходимо обратить внимание на то, чтобы у них был одинаковый рабочий диапазон. Вопрос о "крутой" или "плоской" характеристике обычно не ставится, поскольку формы характеристик рассматриваемых насосов отличаются очень незначительно. При выборе насоса номинальный внутренний диаметр подключаемых к нему трубопроводов не должен иметь решающего значения.

1.3.5 Рабочая точка

Рабочая точка установки всегда лежит в точке пересечения между характеристической кривой насоса и действующей в данный момент характеристикой установок. Если частота вращения насоса неизменна, то при закрывании клапанов рабочая точка смещается по характеристической кривой влево (из точки А в точку D), при полностью закрытых клапанах она достигает точки E. Если клапаны снова открываются, рабочая точка смещается вправо. Если все клапаны открыты, то снова устанавливается расчетная точка.

Расчетная точка должна находиться несколько правее точки оптимальной эффективности. Это даст гарантию того, что насос, по крайней мере, эпизодически, будет работать с максимальной эффективностью. Таким образом, можно оптимизировать использование потребляемой из сети электроэнергии и снизить производственные расходы.



Рабочая точка на характеристике сети трубопроводов и характеристической кривой насоса

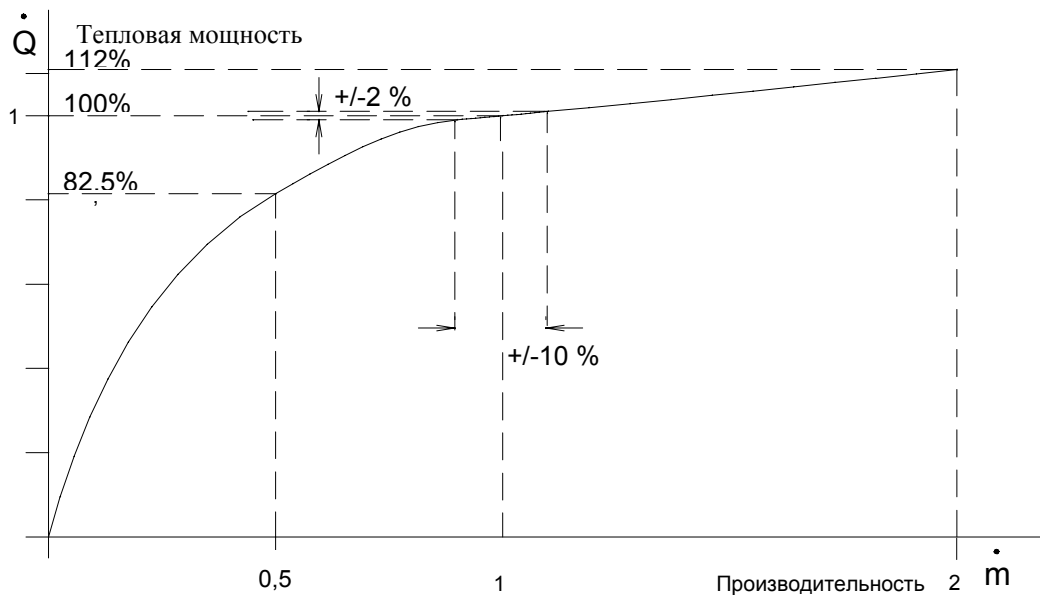
1.3.6 Правильный выбор насоса

Установив рабочую точку, найти в каталоге насосов точно подходящий очень маловероятно.

В сомнительном случае всегда следует выбирать ближайший по характеристикам насос меньшей мощности.

Пример:

Для установки предлагаются два насоса. Насос А при открытых вентилях в этой установке устанавливает объемный поток на 10% больше, чем требуется. Насос В при таких же условиях дает объемный поток на 10% меньше требуемого. На следующем графике показана характеристика теплопередачи, которая поясняет связь между теплопроизводительностью и объемным потоком при постоянной температуре в подающей линии, но переменной разнице температур.



Характеристика теплопередачи, система 90°C / 70°C, Температура в помещении 20 °C

На графике видно, что при изменении производительности на +/-10 % отдача тепловой мощности изменяется лишь на +/- 2%. Из-за погрешностей и резервирования при расчете отопительной нагрузки, расчете сети трубопроводов и планировании нагревательных поверхностей это отклонение становится практически незаметным. Кроме того, столь незначительное снижение теплоотдачи можно легко компенсировать минимальным повышением температуры в подающей линии.

Даже при вдвое меньшей производительности теплоотдача радиатора составляет 80%.

Таким образом, совершенно допустимо выбирать циркуляционный насос несколько меньшей мощности. При одном лишь условии: сеть трубопроводов должна быть гидравлически сбалансирована.

Такой выбор дает целый ряд преимуществ:

- Снижение капиталовложений и затрат электроэнергии
- Более низкий уровень шума насоса
- Отсутствие шумов, которые при слишком мощном насосе могли бы возникнуть, особенно в клапанах термостата радиаторов, из-за чрезмерной скорости потока.

1.3.7 Насос с электронным регулированием

При установке насоса в системах отопления требуется соблюдение многих законных норм:

Требование предписания по системам отопления § 7, абз. 4 от 22.3.1994 г:

Мощность насосов, обеспечивающих циркуляцию в системах центрального отопления, должна подбираться по техническим правилам. Циркуляционные насосы, установленные после 1 января 1996 г., при мощности котла в 50 кВт и выше должны быть оборудованы или сконструированы таким образом, чтобы потребляемая электрическая мощность автоматически приспособлялась к обусловленной эксплуатационными требованиями производительности минимум на 3 ступенях, если этому не противоречат требования по технике безопасности тепловой установки.

Требования VOB (Положение о подрядно-строительных работах):

2 существенных пункта из VOB, часть C - DIN 18 380:

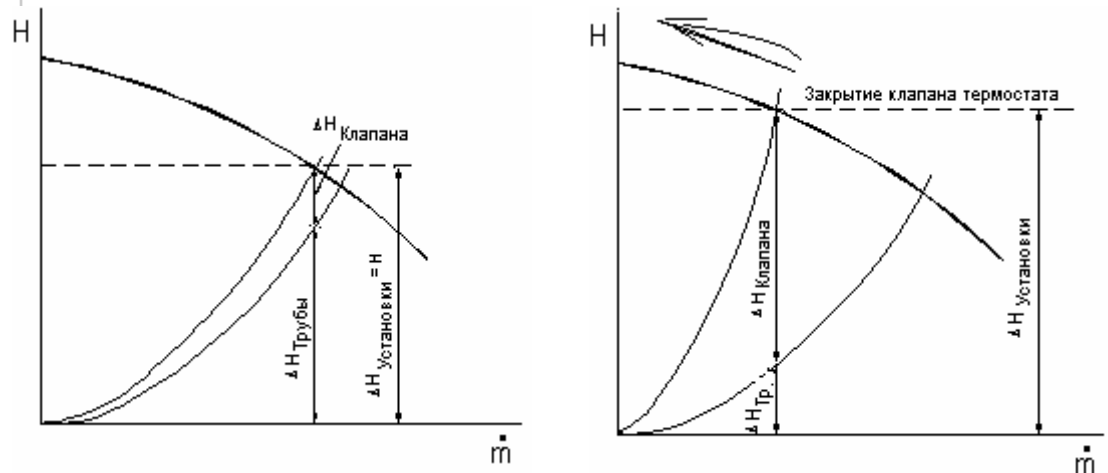
- При меняющихся условиях эксплуатации должно быть обеспечено достаточное распределение расхода воды в сети трубопроводов.
- Допустимые уровни шума не должны превышать.

По этим причинам, а также с целью экономии энергоресурсов, следует устанавливать циркуляционные насосы, регулируемые в зависимости от перепада давления.

Комментарий:

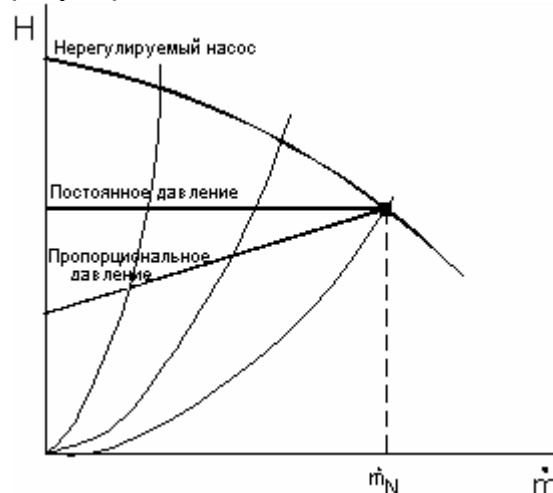
При уменьшении объемного потока потери в сети трубопроводов сокращаются в квадратной зависимости. При этом гидравлические потери уменьшаются, а перепад давлений на клапанах термостата резко возрастает. Однако во избежание проблем с шумом перепад давлений на клапане термостата не должен превышать 1,5 - 2 м.

Результирующие характеристики установок выглядят так:



Изменение перепада давлений на клапане термостата - справа объемный поток меньше, чем слева

Помочь в этой ситуации может насос с электронным регулированием в зависимости от перепада давлений. Регулирование в зависимости от перепада давлений – это, пожалуй, наиболее часто используемый способ регулирования частоты вращения. Условием безупречной регулировочной характеристики является то, что при закрытии потребителей объемный поток в регулируемом контуре должен уменьшаться. Путем изменения частоты вращения напор опускается до тех пор, пока в точке замера снова не установится требуемый перепад давлений. Такой эксплуатационный режим называется “постоянное регулирование давления”.



Различные режимы эксплуатации (регулирования перепада давления) электронного насоса

Экономичность регулирования частоты вращения в значительной мере зависит от того, насколько часто насос работает на низких оборотах. Более низкие частоты вращения экономят электрическую энергию, за которую нужно платить. Режим "пропорциональное давление" вполне приближается к характеристике установки. Путем понижения напора при пониженных объемных потоках этот режим может привести к дальнейшей экономии финансов и решить проблемы шума.

Опасность недостаточного теплоснабжения потребителей при этом невелика. При вдвое меньшем перепаде давления еще проходит примерно 70% объемного потока. Для радиатора германского промышленного стандарта DIN это соответствует теплопроизводительности около 90%.

Резюме:

Преимуществами циркуляционного насоса с электронным регулированием являются:

- Автоматическая подгонка производительности
- Бесшумное теплоснабжение
- Снижение энергопотребления

Ограничения применения:

- Более высокие капиталовложения
- При расчетной высоте подачи менее 1 м минимальный регулируемый напор слишком высок, поскольку минимальная регулируемая высота подачи - 1 м
- Слишком высокие температуры окружающей среды не допустимы, так как для электроники требуется охлаждение

1.4 Байпасный клапан перепада давления

Поскольку между характеристикой сети трубопроводов и характеристической кривой насоса существует связь, понятно, что при каждом дросселировании в установке возникают значительные колебания давления и объемного потока. Регулирующие клапаны радиаторов - это регуляторы количеств, т.е. при изменении положения штока клапана рабочая точка насоса сдвигается по характеристике.

В результате чего:

- Напор насоса постоянно зависит от регулирования и дросселирования клапана и может принимать слишком высокие значения
- В установке могут возникать надоедливые шумы от потока
- Если потребуется минимальный объемный поток обратной воды, гарантировать его невозможно
- При слабой нагрузке температура воды в обратном трубопроводе котла может падать слишком сильно (возможна низкотемпературная коррозия)

С целью исключения этих опасностей устанавливают несколько байпасных клапанов, которые при превышении определенного перепада давлений открывают байпас между подающей и обратной линиями.

Дальнейшие указания:

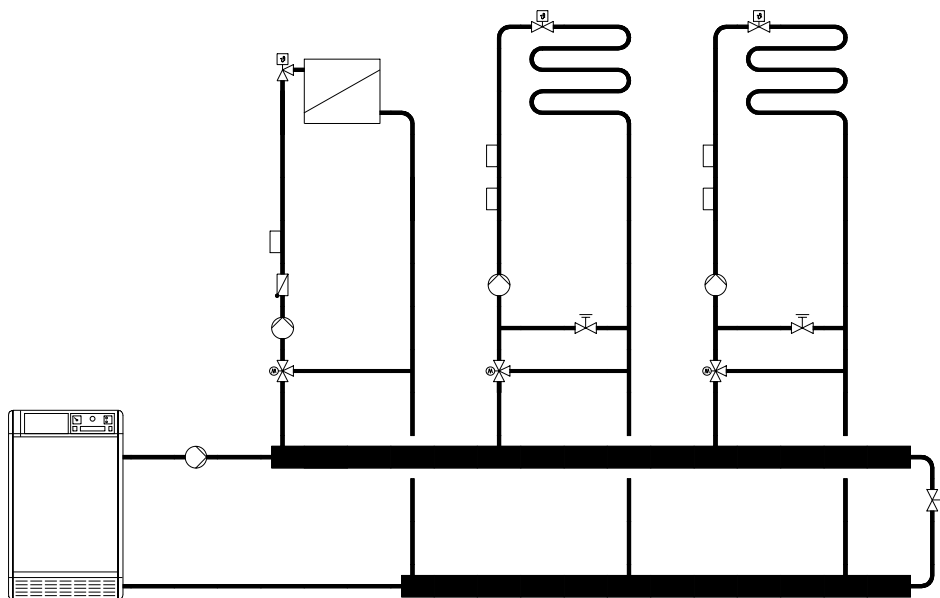
- Регулировка байпасного клапана производится в соответствии с потерями давления в установке. Если фактическое сопротивление установке неизвестно, то все регулирующие вентили радиаторов (или запорные задвижки в подающей и обратной линии) следует закрыть, а клапан отрегулировать таким образом, чтобы именно в этот момент он открывался.
- Байпасный клапан - не "панацея" для ошибочно рассчитанных установок. Он не должен служить, например, для "дросселирования" разности давлений между ошибочной и фактической характеристикой трубопроводной сети.

Недостатком, однако, является то, что даже в режиме частичной нагрузки насос нагнетает излишне большой объемный поток; из-за этого возникает нежелательный перерасход электроэнергии. Поэтому лучшее решение – это установить насос с регулируемой частотой вращения и отказаться от байпасного регулирования.

2 Открытый / Закрытый распределитель

2.1 Открытый (безнапорный) распределитель

Суть этой схемы - в том, что в контуре котла установлен второй (подкачивающий) насос, а между распределителем подающей линии и коллектором обратной линии - байпас.



Регулирование подмешиванием с помощью подкачивающего насоса (безнапорный распределитель)

Перепад давлений в распределителе независимо от положения клапанов можно считать очень незначительным, так что взаимное гидравлическое влияние групп нагрузки практически исключено. Поэтому такую схему называют также безнапорным распределителем.

Это значит, что у ответвления для каждой отопительной группы имеется достаточное количество воды, поскольку в распределителе постоянно циркулирует котловая вода. Так как котловая вода передается группам нагрузки практически без перепада давления, для каждой группы должен быть предусмотрен отдельный циркуляционный насос, который должен преодолевать потери давления только в своем контуре нагрузки.

2.1.1 Указания по проектированию и выбору параметров перепускной линии

Байпас между распределителем и коллектором должен быть рассчитан с запасом.

Разность давлений между распределителем подающей линии и коллектором обратной линии должна составлять не более 2000 Па. Скорость воды в короткозамкнутом участке должна быть по возможности не более 0,6 м/сек.

Запорная задвижка в перепускной линии

В обычном состоянии задвижка в короткозамкнутом участке открыта. Если же подающий насос вдруг выйдет из строя, то при закрытой задвижке с помощью только групповых насосов можно будет поддерживать "работу в аварийном режиме". Это значит, что в распределительной станции без подающего насоса групповые насосы должны преодолевать еще и потери давления в контуре котла.

Выбор параметров подающего насоса

Параметры подающего насоса выбираются в соответствии с давлением в контуре котла. Производительность рассчитывается как сумма всех потоков воды в группах потребителей плюс запас 5-10%, чтобы гарантировать надлежащую циркуляцию от распределителя до коллектора при полной нагрузке всех потребительских групп.

При установке подающего насоса недостаточной мощности отдельные контуры отопления могут быть недостаточно теплыми, поскольку циркуляционные насосы системы отопления при известных условиях влияют друг на друга.

Клапан (трех- или четырехходовой смеситель)

Падение давления в клапане должно преодолеваться группами нагрузки.

Выбор параметров распределителя

На практике параметры распределителя обычно выбирают по количеству и размеру ответвлений или по общему потоку.

Теплопроизводительность (при $\Delta t = 20 \text{ K}$)	кВт	до 150	до 300	до 400	до 600	до 800
Поток	л/ч	6 500	13 000	17 000	26 000	35 000
Диаметр	DN	100	125	150	175	200
Байпас	мм	51/57	70/76	82/89	100/106	125/133

В отношении применения не существует практически никаких ограничений. Такому недостатку, как некоторые дополнительные затраты на установку второго насоса и байпаса, противостоят следующие преимущества:

- Группы потребителей не влияют друг на друга.
- К такому распределителю можно подключать различные устройства (например, смесительные и распределительные схемы, группы с переключением насосов без регулирующего клапана, дальнейшие распределители, вентиляционные установки и т.д.).
- В режиме длительной эксплуатации имеется возможность повышения температуры воды в обратном трубопроводе.
- В пусковом режиме повышение температуры воды в обратном трубопроводе может обеспечиваться за счет ограничения открытия смесителей.

Если установка выполняется без байпаса между распределителем и коллектором, то распределитель находится под давлением.

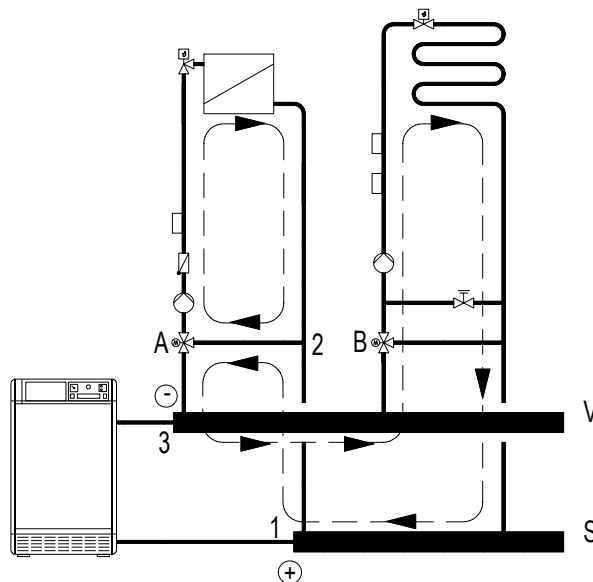
2.2 Закрытый распределитель (распределение без подающего насоса)

В данном случае речь идет об обыкновенном групповом регулировании, при котором несколько потребителей питаются от одной теплоцентрали. Распределитель и обратный коллектор находятся в непосредственном соединении с котельной установкой и поэтому должны быть приобщены уже при проектировании.

- Необходимый для каждой группы циркуляционный насос соответственно должен преодолевать потери давления и в контуре котла. Тот же поток воды, который требуется группе для поддержания температуры в подающей линии, снова нагнетается насосом в контур котла, где кроме него в соответствующих пропорциях также циркулируют потоки и других групп.
- Мгновенный поток через котел определяется суммой необходимых потоков всех групп, т.е. через контур котла всегда проходит такое количество воды, которое требуется для отдельных отопительных групп в соответствии с их мгновенным теплоснабжением.
- Каждая отопительная группа получает необходимый расход воды только тогда, когда давление насоса превосходит следующие сопротивления:
 - a) Если давление насоса равно по величине потерям давления в сети
 - b) Если перепад давлений между распределителем подающей линии и обратным коллектором плюс потери давления в котле является (?).

Однако перепад давлений группы изменяется при каждом дросселировании в сети (смеситель, регулирующие термостатические клапаны радиаторов), так что - в связи с постоянными колебаниями потока в контуре котла - возможна **опасность взаимного гидравлического влияния** отдельных систем регулирования (например, при внезапных больших изменениях нагрузки). Прежде всего, под угрозой находится группа с самым слабым насосом.

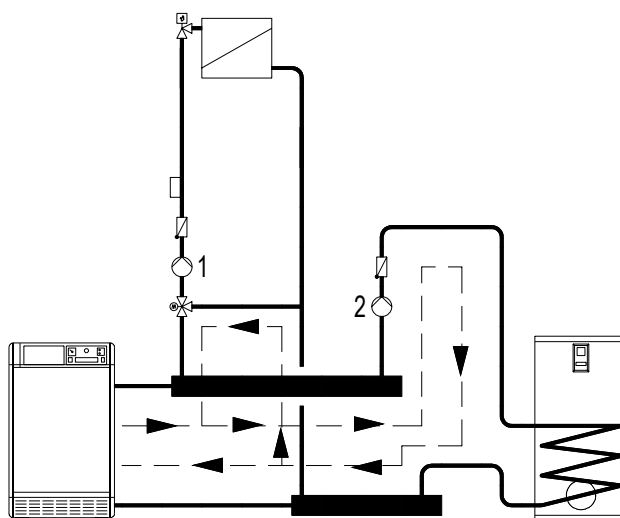
Указания для проектирования и выбора размеров



*Неправильная циркуляция при неверном выборе клапана
 Клапан А слегка приоткрыт (выбран слишком большого размера)
 Клапан В полностью открыт (рассчитан правильно)*

Группа В создает более высокий перепад давлений между распределителем V и коллектором S ("расход давления" через открытый клапан незначителен), так что из точки 1 (+) через подмешивающе-регулирующий затвор к точке 3 (-) может образоваться небольшой обратный поток. Достаточное снабжение группы А горячей питательной водой из котла может быть снова обеспечено только после того, как смеситель будет установлен в определенное положение (колебание в пределах слабой нагрузки). В точке 3 обратная вода от группы В смешивается с водой в распределителе, так что смешанная вода может всасываться насосом В.

К распределителю по возможности должны быть подключены **только отопительные группы**, причем насосы не должны быть слишком мощными.



Неправильная циркуляция при неравных отопительных группах (например, радиатор и водонагреватель)

Как показано на рисунке, например, включение насоса нагрева бойлера (группа 2) может легко нарушить соотношение давлений в распределителе. Это приводит к тому, что при включении насоса увеличивается объемный поток в первичном контуре и, соответственно, разность давлений в точках подключения всех отопительных групп. В распределителе подающей линии давление падает, насос „оттягивает” воду на группу, в обратном коллекторе давление поднимается. Контрмера: смесительный клапан не должен быть слишком большим.

Скорость воды на выходе из смесителя **не должна быть слишком высокой**.

4. Физические основы

4.1. Удельная теплоемкость

Удельная теплоемкость показывает, какое количество теплоты требуется для повышения температуры 1 кг материала на 1 К. Для нагрева 1 кг воды на 1 К требуется около 1,163 Вт ч.

Материал	$\frac{c}{\text{kJ}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$\frac{c}{\text{Wh}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	Материал	$\frac{c}{\text{kJ}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$\frac{c}{\text{Wh}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Спирт	3,32	0,920	Серебро	0,14	0,065
Бетон	0,88	0,244	Камни	0,24	0,290
Свинец	0,13	0,036	Сталь	1,05	0,132
Железо	2,10	0,580	Вода	4,20	1,163
Чугун	0,54	0,150	Водяной пар примерно до 150 °С	2,00	0,560
Жидкое топливо EL	1,89	0,520	Вода / гликоль 60/40 (-19 °С)	3,70	1,060
Жидкое топливо S	2,10	0,580	Вода / гликоль 50/50 (-29 °С)	3,50	0,972
Медь	0,39	0,107	Кирпичи	1,05	0,290
Латунь	0,38	0,106	Цинк	0,39	0,107
Ртуть	0,14	0,038	Олово	0,23	0,063

Удельные теплоемкости различных материалов

4.2. Тепловая мощность

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta t$$

\dot{Q} = мощность в Вт

\dot{m} = расход в кг / ч

4.3. Перевод единиц

$$1 \text{ кВт} = 860 \text{ ккал / ч} = 3\,600 \text{ кДж / ч}$$

$$1\,000 \text{ ккал / ч} = 1,163 \text{ кВт}$$

$$1 \text{ бар} = 10 \text{ м вод. ст.} \\ = 100 \text{ кПа}$$

$$1 \text{ мбар} = 10 \text{ мм вод. ст.}$$

Перевод DN в дюймы:

$$25,4 \text{ мм} = 1 \text{ ''}$$

4.4. Расчет смешивания воды

$$t_m = \frac{m_k \cdot t_k + m_w \cdot t_w}{m_m}$$

m_m, m_w, m_k массы воды

t_m, t_w, t_k температуры

Индексы: m = смесь

k = холодная

w = теплая