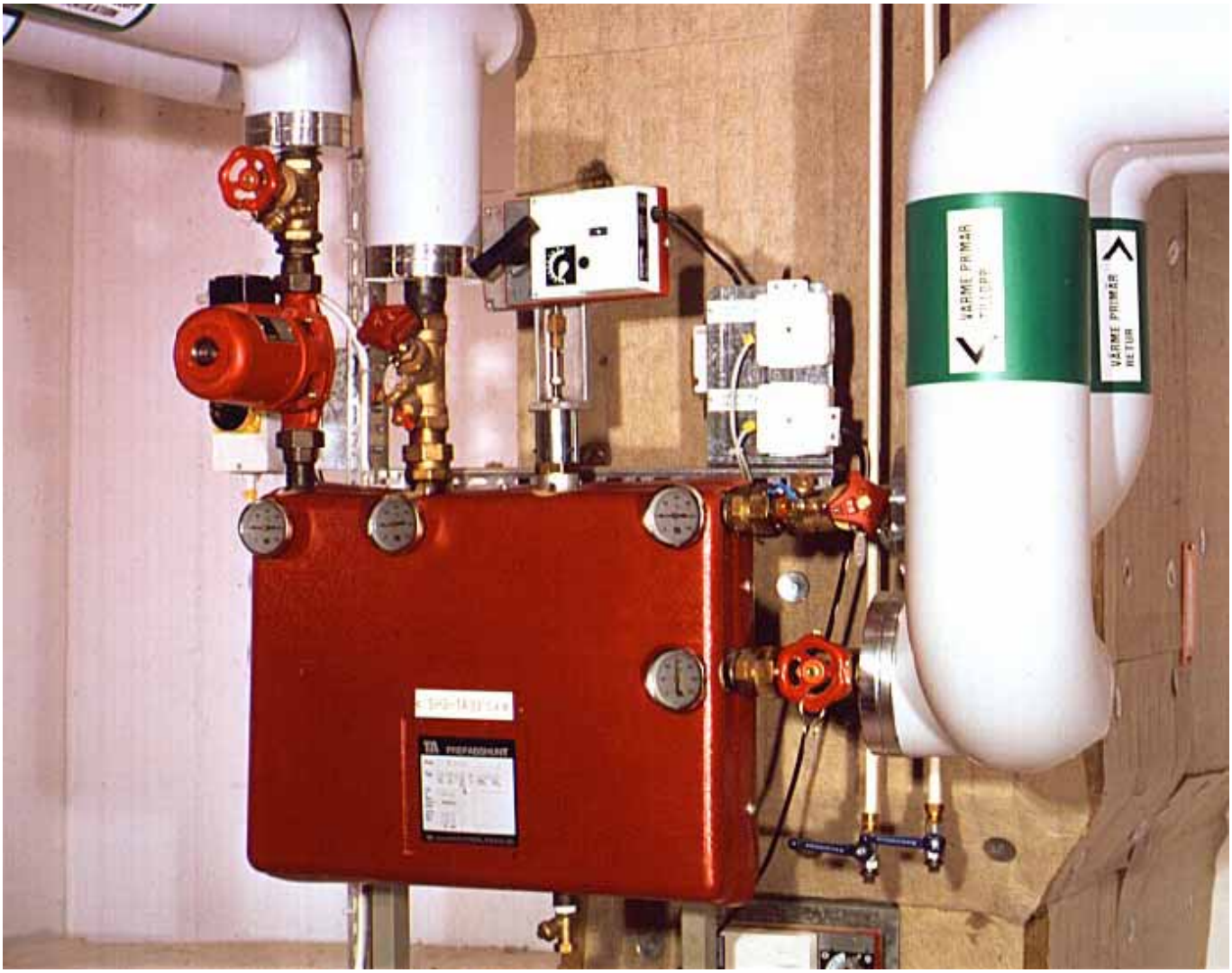
Библиотека СОК



БАЛАНСИРОВКА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ КОНТУРОВ

Руководство, как получить правильный расход в 23 регулируемых контурах, используемых в гидросистемах отопления и охлаждения



Casselden Place, Melburne, Australia

«Балансировка гидравлических контуров» - это руководство № 1 в серии изданий Tour Andersson для проектировщиков ОВК. В руководстве № 2 описывается балансировка распределительных систем. Руководство № 3 – балансировка радиаторных систем, и руководство № 4 – стабилизация дифференциального давления.

Содержание

1. Зачем нужна балансировка? 4

2. Инструменты, которые Вам нужны 6

3. Регулируемые контуры с двухходовыми регулирующими клапанами .. 8

3.1 Переменный расход в первичном и вторичном контурах 8-14
3.2 Переменный расход в первичном контуре и постоянный расход во вторичном 15-19
3.3 Постоянный расход в первичном контуре и переменный расход во вторичном 20-21

3.4 Постоянный расход в первичном и вторичном контурах 22

4. Регулируемые контуры с трехходовыми клапанами 23

4.1 Переменный расход в первичном контуре и постоянный расход во вторичном 23-26

4.2 Переменный расход в первичном и вторичном контурах 27

4.3 Постоянный расход в первичном и вторичном контурах 28-29
4.4 Постоянный расход в первичном контуре и переменный расход во вторичном 30

5. Сравнение регулируемых контуров 32

5.1 Активная первичная сеть 33-36

5.2 Пассивная первичная сеть 37

Приложение

A. Параметры регулирования двухходовых регулирующих клапанов 38

A.1 Неполное определение коэффициента управления клапана 38-39

A.2 Правильное определение коэффициента управления клапана β' 40-41

A.3 Подбор регулирующих клапанов 42-45

B. Параметры регулирования трехходового клапана 46

B.1 Функция смешения 46-47

B.2 Функция перепускного клапана 48-49

C. Как установить клапан ВРУ, чтобы гарантировать минимальный расход на насосе 50

D. Определения 51-52

1. Зачем нужна балансировка?

Многие владельцы зданий тратят время и средства, рассматривая жалобы на климат внутри помещений. Подобная ситуация может быть даже в новых домах, где используется новая технология контроля. Широко распространены следующие проблемы:

- В некоторых помещениях никогда не достигается требуемая температура, особенно после изменения нагрузки.
- Температура внутри помещений продолжает колебаться, особенно при низких и средних нагрузках, даже при наличии на терминалах современных контроллеров.
- Хотя номинальная мощность оборудования может быть достаточной, достичь расчетной мощности не удается, особенно при запуске системы после выходных или ночного снижения нагрузки.

Подобные проблемы часто возникают при неправильном дросселировании потока, препятствующем нормальной работе контроллеров. Контроллеры работают эффективно, только при расчетной подаче жидкости в системе и работе в расчетных условиях.

Единственным способом добиться расчетной подачи жидкости является балансировка системы. Под балансировкой подразумевается регулировка потока с помощью балансировочных клапанов.

Балансировка осуществляется в трех направлениях:

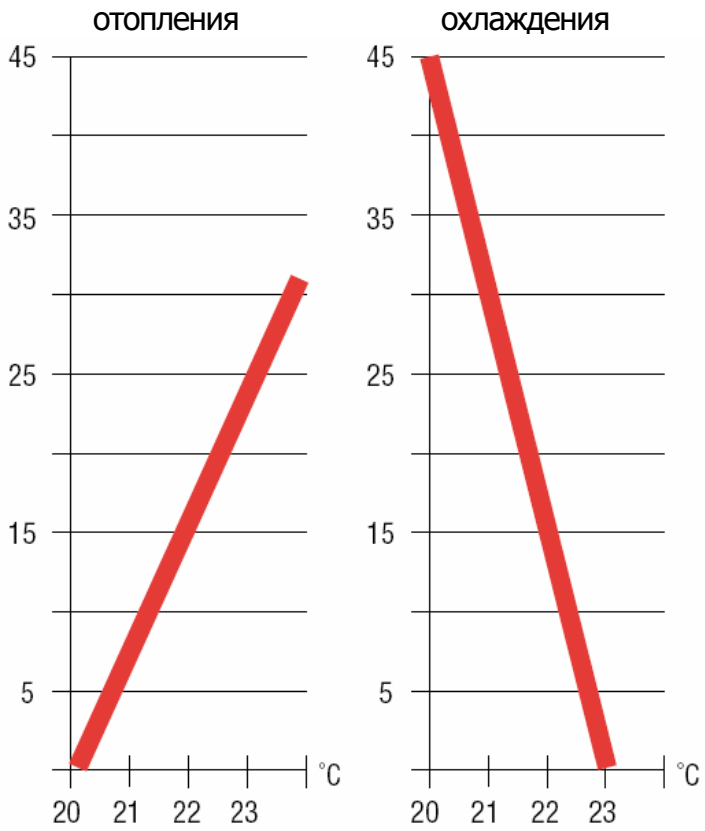
1. Необходимо балансировать оборудование, чтобы добиться расчетных параметров потока для каждой котельной или каждого охладителя. Более того, в большинстве случаев, необходимо поддерживать постоянный поток для каждой установки. Флуктуация снижает эффективность работы, сокращает срок службы оборудования и затрудняет эффективный контроль.
2. Необходимо балансировать систему теплоснабжения, чтобы быть уверенным, что расчетный поток поступает на каждый радиатор, независимо от общей нагрузки системы.
3. Необходимо балансировать регулируемые контуры, чтобы обеспечить правильные рабочие условия регулирующих клапанов и совместимость первичного и вторичного потоков.

В данном руководстве представлена балансировка регулируемых контуров. В ней рассказано, как сбалансировать 23 регулируемых контура с помощью двухходовых и трехходовых регулирующих клапанов.

В руководстве ТА № 2 даны рекомендации по балансировке систем теплоснабжения.

Руководство № 3 описывает балансировку радиаторных систем, в руководстве № 4 рассматривается стабилизация дифференциального давления.

Процент увеличения себестоимости энергии на каждый градус С слишком высокой или слишком низкой температуры, относительно средней температуры здания



Почему средняя температура выше в системе, где не была произведена балансировка? В холодную погоду около котельной будет слишком жарко, а на верхних этажах - слишком холодно. ТЭЦ будет повышать температуру подаваемого в здание теплоносителя. Люди на верхних этажах перестанут жаловаться, а люди, проживающие ближе к котельной, будут вынуждены открывать окна. В жаркую погоду будет, также, происходить подобное. Будет слишком холодно людям, находящимся ближе к охладителю, и слишком жарко людям, находящимся на верхних этажах.

Плюс минус один градус в отдельном помещении не создает людям дискомфорт и незначительно влияет на себестоимость энергии. Но нарушение средней температуры в здании стоит дорого.

В средней части Европы каждый градус выше уровня в 20°C увеличивает стоимость теплоэнергии не менее, чем на 8% (на 12% в южной части Европы).

В Европе снижение на один градус от уровня в 23°C увеличивает стоимость охлаждения на 15%.

2. Инструменты, которые Вам нужны

Вам необходимы три вещи:

Приборы для измерения и регулировки расхода жидкости,
измерительный инструмент
и методика балансировки.

Приборы для измерения и регулировки расхода жидкости.

Балансировочные клапаны, представляющие собой регулирующие клапаны переменной площадью отверстия или диафрагмы с отдельным регулирующим клапаном.

Существует значительная разница между клапанами различного изготовления. Это касается и столь же значительной разницы в точности регулировки климата внутри помещения, экономии мощности, а также времени, затрат и усилий, требуемых для выполнения одинаковой балансировки.

TA, чья продукция используется во всем мире, удовлетворяет самые изысканные требования рынка и предлагает измерительные устройства и регулирующие клапаны как для постоянного расхода, так и для переменного. Вот некоторые отличительные характеристики продукции TA:



STAD	STAF	STAP
Балансировочный клапан STAD 15-50 мм	Балансировочный клапан STAF 20-300 мм	Регулятор перепада давления STAP 15-50 мм

Балансировочные клапаны и диафрагмы

- Точность расхода для клапанов лучше ± 5%, а для диафрагм лучше ± 3%.
- Клапаны размером до 50 мм имеют четыре полных оборота между позициями открыто и закрыто. Для больших размеров предусмотрено восемь, двенадцать или шестнадцать полных оборотов.
- Клапаны выпускают с внутренней резьбой, с фланцами, бесфланцевые клапаны, с пазами и с обжимными фитингами.
- Клапаны размером до 50 мм выполнены из Аметал®, возможно, единственного сплава, полученного литьем под давлением, который отвечает самым строгим требованиям устойчивости к цинковой коррозии.

Регулятор дифференциального давления

- Устанавливаемое значение: от 5 до 60 кПа.
- Для стабилизации дифференциального давления на регулирующем клапане и/или контурах.

Измерительный прибор.



Для того, чтобы знать наверняка, удалось ли получить нужный расход, и какое дифференциальное давление имеется на разных участках объекта, необходимо выполнять измерения. Инструмент также дает возможность диагностики и анализа системы. Прибор для балансировки CBI" компании TA Hydronics обладает всеми характеристиками, необходимыми для выполнения данных требований, например:

- Измеряет и заносит данные дифференциального давления, расхода и температуры на STAD, STAF, STAP/STAM и других клапанах TA Hydronics.
- Запрограммирован для расчета величин настройки при балансировки, а также TA Метода и TA Баланс.
- Двухканальная связь с ПК.
- Делает поправку в расчетах при наличии антифриза.
- Большой объем памяти - может оперировать данными 1000 клапанов и 24,000 величин при регистрации.
- Графическое табло дает возможность присваивать имена объектам и клапанам.

Пропорциональный предохранительный клапан.



В системе с переменным расходом клапаны BPV могут быть использованы для выполнения трех различных функций:

- Обеспечение минимального расхода жидкости для защиты насоса.
- Ограничение дифференциального давления в контурах с нагрузками.

Клапан BPV выполняет функцию закрытия и настройки на 10-60 кПа. 15 - 32 мм (1/2" - 1 1/4")

3. Регулируемые контуры с двухходовыми регулирующими клапанами

3.1 Переменный расход в первичном и вторичном контурах

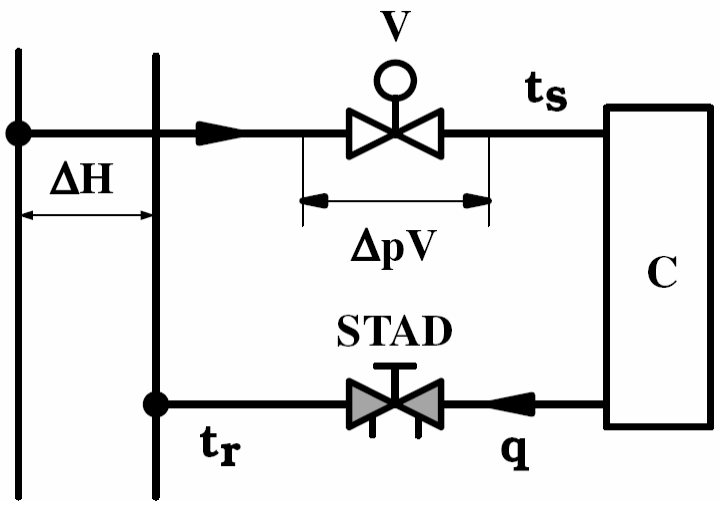


Рисунок 1. Регулировка терминала с переменным расходом.

На рисунке 1 двухходовой регулирующий клапан регулирует выход с терминала (радиатора) путем изменения расхода воды.

Коэффициент управления регулирующего клапана $\beta = \Delta p_V/\Delta H$. Подробное объяснение термина "коэффициент управления" представлено в Приложениях А и В.

Двухходовой регулирующий клапан выбирается таким образом, чтобы обеспечить (при полном открытии и требуемом расходе) падение давления $\Delta p_V = \Delta H - \Delta p_C - 3$ (кПа)
Кроме того, эта величина Δp_V должна быть больше, чем 0.25 x $\Delta H_{макс}$.

<u>Порядок выполнения балансировки:</u>

1. Полностью открыть все регулирующие клапаны.
2. Отрегулировать расчетный расход с помощью балансировочного клапана STAD. Выполнить эту операцию как часть процесса балансировки всей первичной системы (см. руководство ТА № 2).

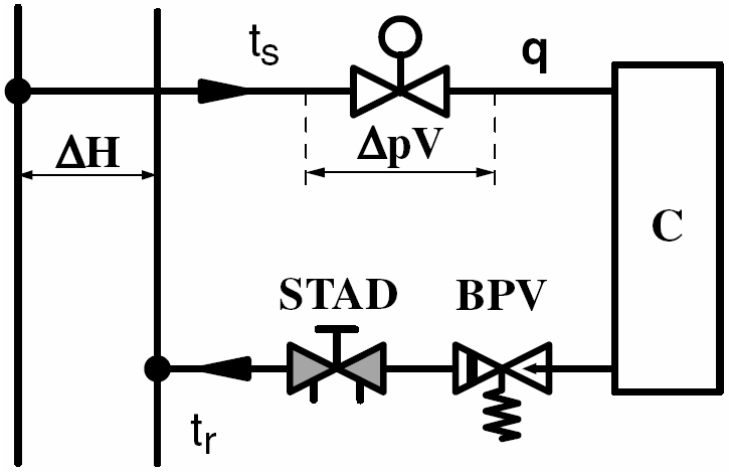


Рисунок 2. Предохранительный клапан с плавной характеристикой снижает перепад давления на постоянную величину, независимо от расхода воды.

Если регулирующий клапан слишком велик, например, в связи с ограниченным выбором величин Kv, перепад давления (или дифференциальное давление) в первичной системе может быть снижен косвенным путем с помощью предохранительного клапана BPV с плавной характеристикой. Клапан BPV снижает дифференциальное давление на постоянную величину независимо от расхода воды.

Коэффициент управления регулирующего клапана $\beta = \Delta p_{CV}/(\Delta H - \Delta p_{CBPV})$.

Порядок выполнения балансировки:

1. Полностью открыть все регулирующие клапаны. Убедиться, что открыты все клапаны BPV (минимальная точка регулирования).
2. Отрегулировать расчетный расход с помощью балансировочного клапана STAD. Выполнить эту операцию как часть процесса балансировки для всей первичной системы (см. руководство ТА № 2) прежде чем приступить к этапу 3.
3. Определить, какое положение рукоятки STAD обеспечит снижение давления до 3 кПа на клапане STAD для получения расчетного расхода.
4. Отрегулировать клапан STAD в соответствии с этапом 3. Расход воды, проходящей через клапан STAD должен быть выше расчетной величины.
5. Отрегулировать заданное положение клапана BPV до получения расчетного расхода воды на клапане STAD. После регулировки клапана BPV произвести замер расхода на клапане STAD.

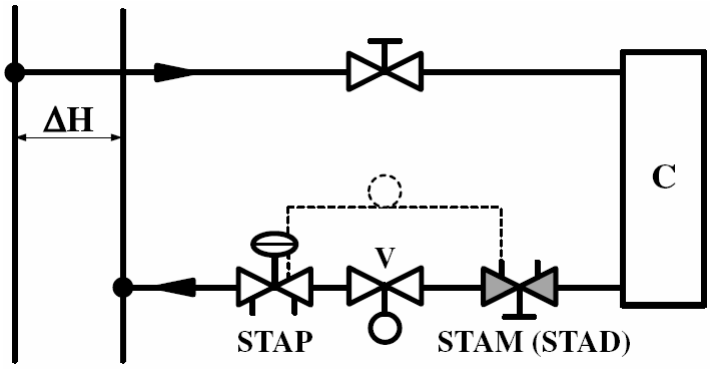


Рисунок 3. Регулятор Δp поддерживает постоянный перепад давления на регулирующем клапане.

В зависимости от вида объекта дифференциальное давление на некоторых контурах может сильно меняться с нагрузкой. В этом случае, чтобы достичь и поддерживать правильную характеристику регулирующего клапана, применение регулятора Δp позволит поддерживать перепад давления на регулирующем клапане практически постоянным (рисунок 3). Дифференциальное давление на регулирующем клапане "V" определяется с одной стороны путем подсоединения капилляра по направлению потока измерительного клапана STAD. Давление с другой стороны связано напрямую с рабочей мембраной путем внутреннего соединения в клапане STAP.

Когда дифференциальное давление на регулирующем клапане увеличивается, STAP пропорционально закрывается для компенсации. Регулирующий клапан "V" не должен быть большего размера, так как расчетный расход всегда получают для полностью открытого клапана, и его коэффициент управления - близок к единице.

Все дополнительное дифференциальное давление действует на STAP. Дифференциальное давление достаточно легко регулировать в отличие от температуры, поэтому можно использовать достаточно широкую зону пропорциональности.

Никакой отдельной процедуры наладки не требуется, так как расходы на каждом участке правильные. Если все регулирующие клапаны стоят вместе со STAP, то на ветвях и стояках нет необходимости в балансировочных клапанах, кроме как в целях диагностики.

Порядок выполнения балансировки:

1. Полностью открыть регулирующий клапан "V".
2. Настроить STAM (STAD) не менее, чем на 3 кПа для требуемого расхода.
3. Выставить Δp_L на регуляторе дифференциального давления STAP для получения требуемого расхода.

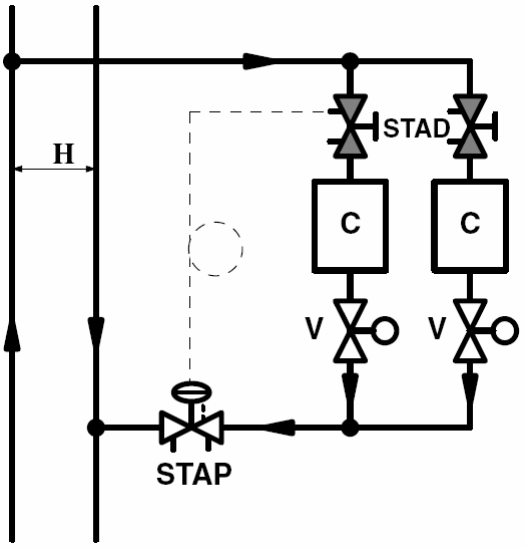


Рисунок 4. Регулятор дифференциального давления STAP стабилизирует перепад давления на ряде нагрузок.

Когда несколько небольших нагрузок "C" находятся близко друг к другу, удобно стабилизировать перепад давления сразу на всем ряде, как показано на рисунке 4.

Давление на подаче передается на STAP через капилляр, подсоединенный к балансировочному клапану первого контура.

Когда дифференциальное давление ΔH повышается, клапан STAP закрывается для компенсации. Каждый регулирующий клапан "V" выбирается таким образом, чтобы создать, при полном открытии и требуемом расходе, приблизительно такое же падение давления, как калорифер.

Порядок выполнения балансировки:

1. Оставить заводскую величину установки STAP. Регулирующий клапан "V" - полностью открыт.
2. Отбалансировать нагрузки ветви по методу ТА-БАЛАНС (Руководство №2), который не зависит от дифференциального давления ΔH.
3. Настроить STAP таким образом, чтобы получить требуемый расход на балансировочном клапане STAD первого контура. В других контурах расходы будут скорректированы автоматически.

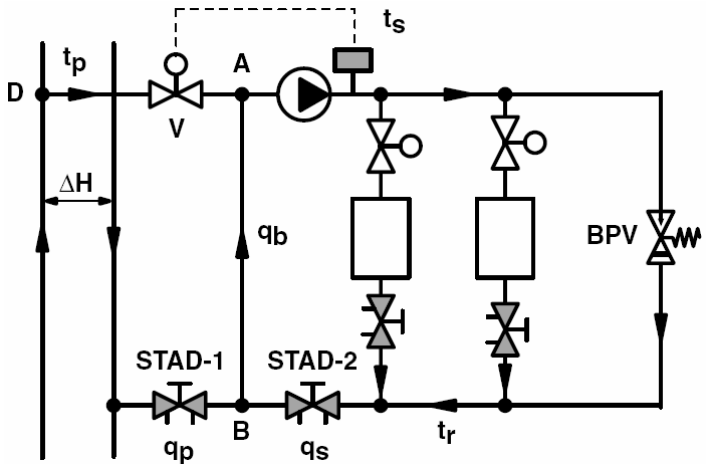


Рисунок 5. Насос вторичной системы создает достаточное дифференциальное давление. Температура вторичного потока воды обязательно должна отличаться от температуры первичного потока.

Если дифференциальное давление ΔH слишком мало, чтобы обеспечить необходимые параметры управления для управляющих клапанов контура, насос вторичной системы может обеспечить достаточное дифференциальное давление.

Решение, представленное на рисунке 5 можно также использовать, если первичное дифференциальное давление слишком велико.

Температура воды вторичного контура t_s может быть постоянной или переменной, но обязательно должна отличаться от температуры воды первичного контура t_p. В отопительной системе $t_s < t_p$, тогда как в системе охлаждения $t_s > t_p$.

При малых нагрузках дифференциальное давление во вторичном контуре обычно увеличивается. Когда давление превышает определенную величину, клапан BPV открывается и минимальный расход защищает насос. Минимальный расход также ограничивает падение температуры в трубопроводе, таким образом, требуемая температура воды достигается во вторичной сети.

<u>Порядок выполнения балансировки:</u>

Вторичный контур

1. Полностью открыть все регулирующие клапаны. Закрыть клапан BPV.
2. Произвести балансировку радиаторов во вторичной системе с клапаном STAD-2, используемым в качестве клапана-партнера (см. руководство ТА №2).
3. Настроить клапан BPV на максимально допустимое давление Δp для регулирующих клапанов терминала (радиатора).
4. Закрыть регулирующие клапаны терминалов.
5. Настроить клапан BPV на минимальный расход воды, поступающей на насос (см. приложение C).

Первичный контур

1. Открыть регулирующий клапан V.
2. Если первичный расход неизвестен, рассчитать его по формуле на странице 15.
3. Отрегулировать расход в первичной системе с помощью клапана STAD-1. Выполнить эту операцию как часть процесса балансировки для всей первичной системы (см. руководство ТА № 2).

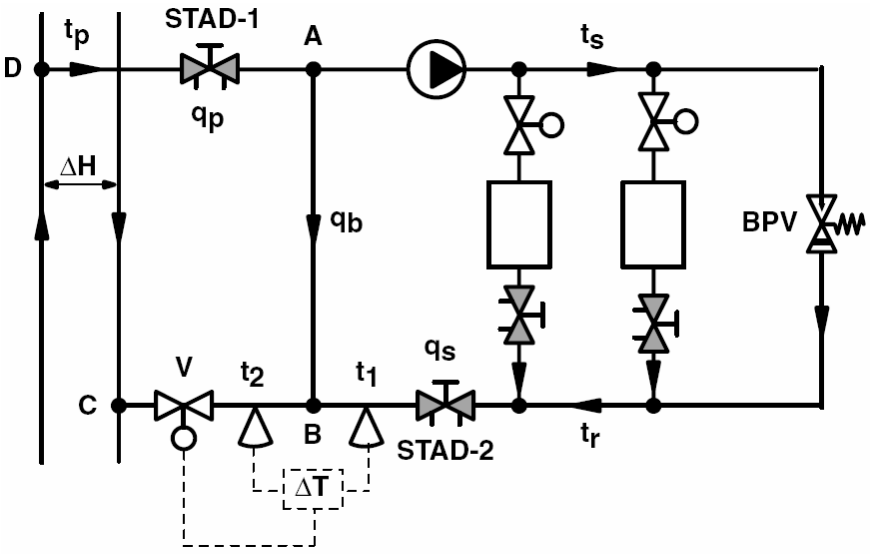


Рисунок 6. Дифференциальный терморегулятор обеспечивает минимальный расход q_b в байпасе, таким образом, что $t_s = t_r$.

Если температура воды во вторичной системе должна быть равна температуре воды в первичной системе, может быть использован контур циркуляции, приведенный на рисунке 6 (только отопление) или контура циркуляции, приведенный на рисунке 7 (отопление и охлаждение).

Чтобы $t_s = t_r$, расход в байпасе должен быть больше нуля. Чтобы обеспечить минимальный расход q_b воды, подаваемой в правильном направлении, на клапане V первичной системы должен функционировать контроллер ΔT. Контроллер ΔT поддерживает температуру t_2 слегка выше, чем температуру t_1. Обычно, положение настройки контроллера ΔT находится между 1 и 2 градусами.

<u>Порядок выполнения балансировки:</u>

Вторичный контур

1. Полностью открыть все регулирующие клапаны. Закрыть клапан BPV.
2. Произвести балансировку радиаторов во вторичной системе с клапаном STAD-2, используемым в качестве клапана-партнера (см. руководство ТА №2).
3. Настроить клапан BPV на максимально допустимое давление Δp для регулирующих клапанов радиатора.
4. Закрыть регулирующие клапаны радиаторов.
5. Настроить клапан BPV на минимальный расход воды, поступающей на насос (см. приложение C).

Первичный контур

1. Открыть регулирующий клапан V.
2. Если расход в первичной системе не известен, его нужно рассчитать с помощью нижеприведенной формулы.
3. Отрегулировать расход в первичной системе с помощью клапана STAD-1. Выполнить эту операцию как часть процесса балансировки для всей первичной системы (см. руководство ТА № 2).

$$q_p = 1.05\ q_s$$

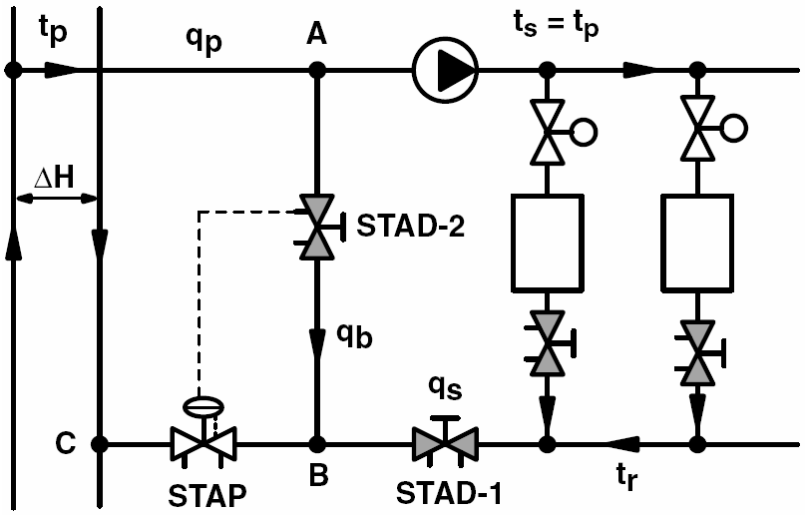


Рисунок 7. Регулятор дифференциального давления поддерживает постоянный расход в байпасе, обеспечивая тем самым постоянный перепад давления в этом байпасе.

Контур циркуляции, представленный на рисунке 7 может быть использован в холодильных установках, в которых дифференциальное давление ΔH слишком мало, чтобы обеспечить достаточные управляющие параметры регулирующих клапанов терминала, и где давление ΔH изменяется слишком сильно.

Регулирующий клапан V обеспечивает небольшой и постоянный расход в байпасе, независимо от изменений давления ΔH. Этот небольшой расход дозируют с помощью клапана STAD-2.

Когда увеличивается ΔH, STAP соответственно закрывается, обеспечивая постоянное дифференциальное давление на балансировочном клапане STAD-2.

Порядок выполнения балансировки:

1. Открыть все регулирующие клапаны.
2. Настроить STAD-2 так, чтобы получить, для 5% требуемого расхода q_s, снижение давления, соответствующее выбранной настройке регулятора Δp.
3. Отбалансировать вторичный контур, где STAD-1 — клапан-партнер (см. руководство TA № 2)

3.2 Переменный расход в первичном контуре и постоянный расход во вторичном

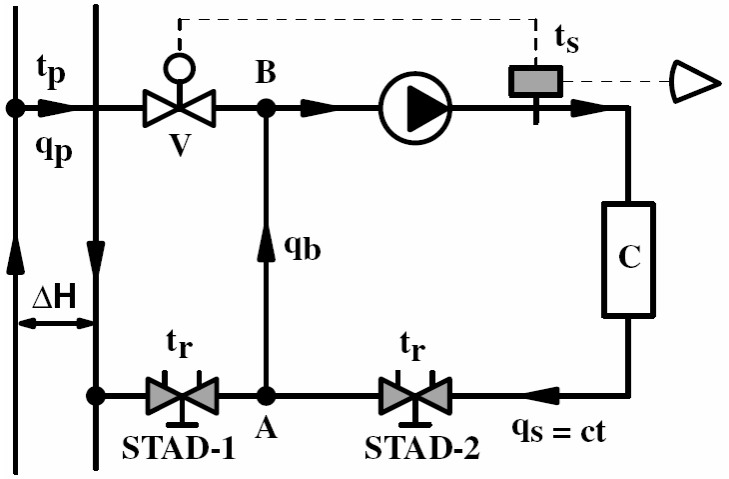


Рисунок 8. Регулировка выхода из терминала при постоянном расходе на нем.

Эту схему часто используют как для отопительных систем, так и для систем охлаждения. Регулировка расхода в первичном контуре обеспечивает адаптацию рабочей температуры калорифера t_s к необходимой мощности.

Если согласно расчетным условиям t_s должна быть равна t_p, то максимальный расход q_p в первичном контуре должен быть равен или превышать расход q_s во вторичном контуре. В противном случае установленная мощность передается на вторичный контур, поскольку расчетная величина t_{sc} может быть не достигнута. Расход в первичном и вторичном контурах должен быть совместим. Расход регулируют балансировочные клапаны STAD-2 и STAD-1.

Пример напольного отопления: предположим что t_{sc} = 50°C и значительно ниже t_p = 80°C. Регулирующий клапан должен быть выбран для сравнительно малого расхода. Температура обратной воды t_{rs} = 45°C, из формулы на странице 19 видно, что расход в первичном контуре составляет лишь 14% расхода во вторичном контуре. Если регулирующий клапан выбран для такого расхода, то он может работать на всем диапазоне. Лимит температуры до 50°C в подающей сети при максимальном открытии клапана будет превышен. При неисправности вторичного насоса первичный поток подается через байпас, что предупреждает перегрев в сети.

Порядок выполнения балансировки:

1. Полностью открыть все регулирующие клапаны.
2. С помощью клапана STAD-2 произвести настройку на расчетный расход во вторичной системе.
3. Если расход в первичной системе неизвестен, рассчитать его, используя приведенную ниже формулу.
4. Выставить первичный расход с помощью STAD-1. Выполнить эту операцию как часть процесса балансировки для всей первичной системы.

$$q_p = q_s \frac{t_s - t_r}{t_p - t_r} = q_s \frac{50-45}{80-45} = 0.14 q_s$$

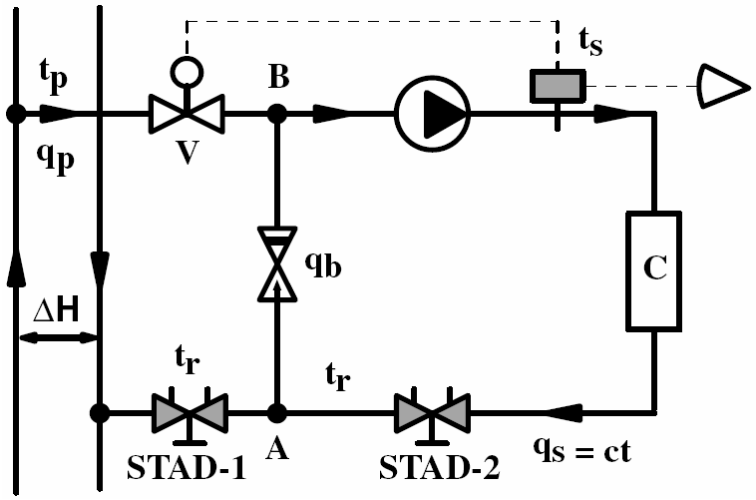


Рисунок 9. Обратный клапан в байпасе обеспечивает прохождение некоторого потока воды через калорифер даже в случае неисправности насоса вторичной системы.

Это, по существу, та же схема, что и на рисунке 8. Однако в нее дополнительно установлен обратный клапан, препятствующий циркуляции потока в байпасе в направлении BA.
Если эту схему используют для центрального теплоснабжения и регулирующий клапан первичной системы превышает необходимые размеры, обратный клапан предупреждает нагревание обратной воды. Если данную схему используют для калорифера, контактирующего с воздухом, обратный клапан предупреждает возможность промерзания системы в случае отказа насоса вторичной системы.

Помните, что расход в первичном контуре не должен превышать расход во вторичном контуре.

<u>Порядок выполнения балансировки</u>:
$t_{sc} = t_p$:
1. Закрыть регулирующий клапан V.
2. С помощью клапана STAD-2 произвести настройку на расчетный расход q_{sc} во вторичной системе.
3. Открыть регулирующий клапан V.
4. С помощью клапана STAD-1 произвести настройку на расчетный расход q_{sc} в первичной системе.

$t_{sc} \neq t_p$:
1. Закрыть регулирующий клапан V.
2. С помощью клапана STAD-2 произвести настройку на расчетный расход во вторичной системе.
3. Если расход в первичной системе неизвестен, рассчитать его, используя приведенную ниже формулу.
4. Открыть регулирующий клапан.
5. С помощью клапана STAD-1 произвести настройку на расчетный расход в первичной системе. Выполнить эту операцию как часть процесса балансировки для всей первичной системы (см. руководство TA № 2).

$$q_p = q_s \frac{t_s - t_r}{t_p - t_r}$$

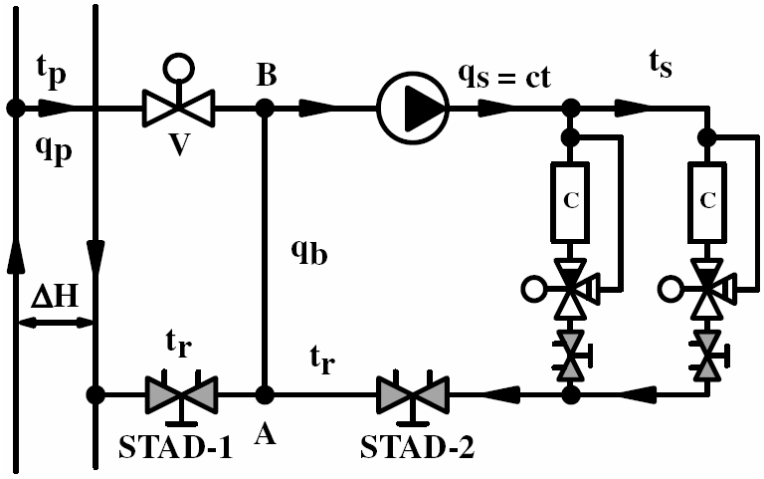


Рисунок 10. Первичное распределение постоянного расхода преобразовано в первичный переменный расход.

Как правило, на крупных котельных установках в существующих системах распределения постоянный расход воды преобразуют в переменный. Существуют три причины: 1) температура подаваемой воды может сохраняться постоянной и при этом нет необходимости держать в рабочем состоянии все производственные мощности. 2) Переменный расход воды в распределительной системе означает снижение затрат на подачу насосом. 3) Объект может быть разработан с учетом фактора разнесения. Как правило, вторичная система продолжает работать с постоянным расходом. После произведенного преобразования уже невозможно работать с $t_{sc} = t_p$. Когда клапан V полностью открыт, можно получить $t_{sc} = t_p$ при прохождении обратного потока через байпас. Если, существующий в данной ситуации расход воды удовлетворяет требованиям, сигнал на закрытие двухходового клапана не поступает. Клапан остается открытым и тогда вновь восстанавливается система распределения с постоянным расходом. Чтобы избежать подобной ситуации t_s следует отрегулировать так, чтобы в отопительной системе $t_s < t_p$, а в системе охлаждения $t_s > t_p$. Расход в первичной системе будет изменяться как функция нагрузки:

$$q_p = \frac{P}{1+\frac{t_{sc}-t_{rc}}{t_p-t_{rc}}\times(\frac{P}{100}-1)}\%$$, где

P - это нагрузка , как процент от расчетной мощности. Теперь предположим, что $t_p = 6°C$, $t_{sc} = 8°C$, а $t_{rc} = 12°C$. Для P = 50% получаем $q_p = 75\%$. Таким образом, расход воды составляет 75% при расходе энергии равном 50%. До преобразования системы с постоянным расходом в систему с переменным расходом расход воды составлял 100% при 50% расходе энергии. В действительности такое преобразование не меняет первичную систему в настоящую систему с переменным расходом, так как расход в % остается больше расхода энергии в %.

Порядок выполнения балансировки:

1. Произвести балансировку контуров трехходового клапана (см. руководство ТА № 2). Клапан STAD-2 является клапаном-партнером.
2. Если расход в первичной системе неизвестен, рассчитать его, используя приведенную ниже формулу.
3. Открыть регулирующий клапан.
4. С помощью клапана STAD-1 произвести настройку на расчетный расход q_p в первичной системе. Выполнить эту операцию как часть процесса балансировки для всей первичной системы (см. руководство ТА № 2).

Рисунок 11а

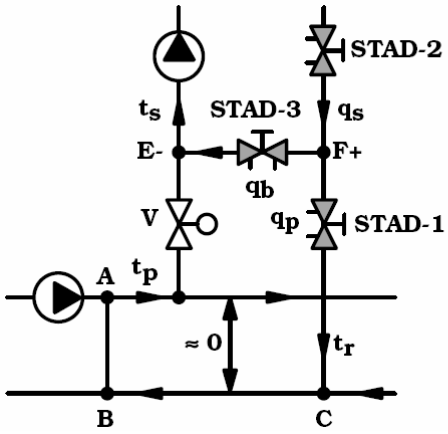


Рисунок 11б

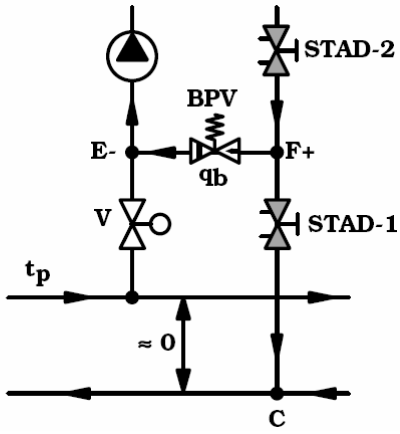


Рисунок 11. Насосы вторичной системы пропускают поток воды через распределительную систему.

Если распределительная система представляет собой пассивный контур циркуляции с низким перепадом давления, циркуляцию можно поддерживать с помощью насосов вторичной системы.

Балансировочный клапан STAD-3 создает определенное дифференциальное давление между точками F и E. Это давление генерирует расход q_p на регулирующем клапане V первичной системы, на участках FCB и AE. Дифференциальное давление Δp_{cEF} получают для $q_b = q_{sc} - q_{pc}$. Это подразумевает, что значение qsc должно быть больше значения q_{pc}.

Когда регулирующий клапан V закрыт расход в байпасе $q_b = q_{sc}$, а давление Δp_{EF} максимально. На закрытый клапан V также воздействует дифференциальное давление. Для получения хороших управляющих характеристик клапана важно избегать больших перепадов давления Δp_{EF}. Это означает, что величина q_{pc} должна быть как можно меньше величины q_{sc}. Следовательно, эта система применима только при значительной разнице между величинами t_s и t_p, как, например, в системе напольного отопления.

Расход в байпасе представлен следующей формулой:

$$q_p = q_s \frac{t_p - t_s}{t_p - t_r}$$

Предположим, что расход q_s во вторичном контуре более или менее постоянный, коэффициент управления регулирующего клапана будет $\beta = \Delta p_{cV} / \Delta p_{EFмакс}$.

Пример: напольное отопление с t_p = 80°C, t_s = 50°C, t_r = 45°C и q_s = 100. При полной нагрузке q_b = 100 (80 - 50)/(80 - 45) = 85.7. При таком расходе балансировочный клапан STAD-3 в байпасе создает дифференциальное давление, компенсирующее потерю давления на двухходовом клапане (например, 8 кПа) и в первичном контуре (5 кПа), а в целом 13 кПа. Когда двухходовой клапан закрыт, при нулевой нагрузке, расход qb становится равным 100 (допуская, что увеличение потери давления EF незначительно влияет на расход qs) и потеря давления на клапане STAD-3 становится $\Delta p_{EFмакс}$ = 13 x (100/85.7)2 = 18 кПа. Коэффициент управления регулирующего клапана, таким образом, будет равен β = 8/18 = 0.44.

Клапан STAD-3 может быть заменен предохранительным клапаном BPV, который поддерживает постоянное дифференциальное давление. В примере с напольным отоплением это увеличивает коэффициент управления регулирующего клапана с 0.44 до 0.61.

Порядок выполнения балансировки:

Клапан STAD-3 в байпасе (рисунок 11а):

1. Полностью открыть все регулирующие клапаны.
2. Настроить клапан STAD-3 на потерю давления равную $\Delta p_{EF} = \Delta p_{cV}$ + падение давления в первичном контуре (в нашем примере 8 + 5 = 13 кПа) для расхода в байпасе равного $q_b = q_{sc} - q_{pc}$. Для определения правильного положения ручки клапана STAD-3 воспользуйтесь прибором CBI или номограммой TA.
3. Установить клапан STAD-1 для получения потери давления, равной 3 кПа для расчетного давления первичной системы. Для определения правильного положения маховика клапана STAD-1 воспользуйтесь прибором CBI или номограммой TA.
4. Закрыть регулирующий клапан V. С помощью клапана STAD-2 произвести регулировку на расчетный расход.
5. Если расход q_{pc} в первичной системе не известен, рассчитайте его по приведенной ниже формуле.
6. Открыть регулирующий клапан V. Произвести настройку клапана STAD-3 на получение $q_p = q_{pc}$ на клапане STAD-1.

$$q_p = q_s \frac{t_{sc} - t_{rc}}{t_p - t_{rc}}$$

Клапан BPV в байпасе (рисунок 11б):

1. Полностью открыть все регулирующие клапаны.
2. Установить клапан STAD-1 для получения потери давления, равной 3 кПа для $q_p = q_{pc}$. Для определения правильного положения рукоятки клапана STAD-1 воспользуйтесь прибором CBI или номограммой TA.
3. Открыть клапан STAD-2. Настроить клапан BPV для получения расчетного расхода на клапане STAD-1.
4. Настроить клапан STAD-2 для получения расчетного расхода на вторичном контуре.

3.3 Постоянный расход в первичном контуре и переменный расход во вторичном

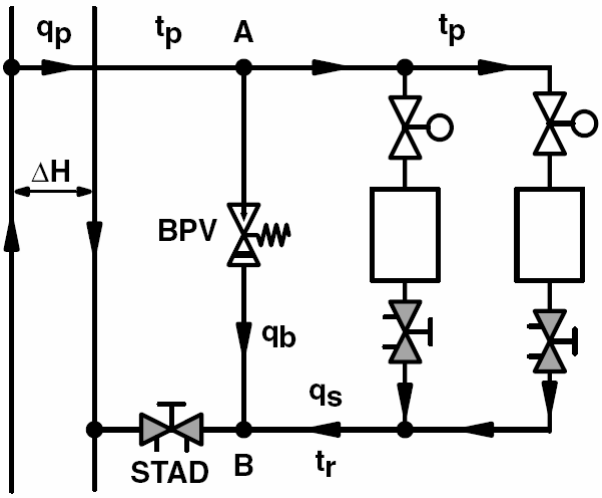


Рисунок 12. Байпасный предохранительный клапан BPV стабилизирует дифференциальное давление на небольших установках.

Если располагаемое дифференциальное давление на первичном контуре слишком высоко для вторичного контура, можно воспользоваться схемой, представленной на рисунке 12.

При настройке клапана BPV можно выбрать положение в диапазоне от 8 до 60 кПа. Это гарантирует хорошие рабочие условия для регулирующих клапанов радиаторов (хороший коэффициент управления) независимо от изменения дифференциального давления ΔH. Клапан BPV обеспечивает постоянное дифференциальное давление между точками A и B. Клапан STAD обеспечивает потерю давления, равную ($\Delta H - \Delta p_{BPV}$).

<u>Порядок выполнения балансировки:</u>

1. Открыть все регулирующие клапаны. Закрыть все клапаны BPV.
2. Произвести балансировку терминала (радиатора) по другим терминалам (радиаторам), одно ответвление по другим ответвлениям, один стояк по другим стоякам. Выполнить эту операцию (см. руководство ТА № 2) прежде, чем приступить к этапу 3.
3. Закрыть регулирующие клапаны данной ветви.
4. Медленно уменьшать величину настройки BPV до тех пор, пока не будет достигнуто 2/3 требуемого расхода на STAD.

(см. также Руководство № 4 - приложение 5.5 для дополнительного пояснения)

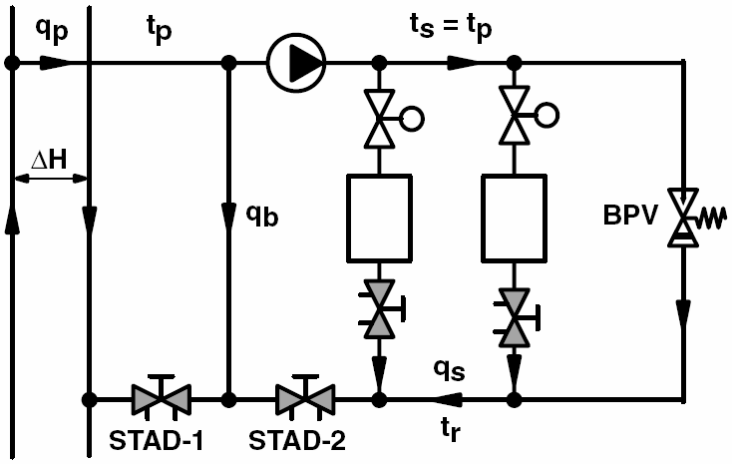


Рисунок 13. Снижение и увеличение дифференциального давления на терминалах (радиаторах) с помощью насоса вторичной системы.

Если дифференциальное давление первичного контура слишком мало или слишком велико для вторичной системы, на рисунке 13 представлена схема возможного решения этой проблемы. В этой схеме предохранительный клапан используют для получения минимального расхода и защиты насоса. Клапан STAD-1 дает возможность избежать короткого замыкания первичной системы.

Порядок выполнения балансировки:

1. Открыть все регулирующие клапаны. Закрыть все клапаны BPV.
2. Произвести балансировку терминала (радиатора) по другим терминалам (радиаторам) с помощью клапана STAD-2, используемого в качестве клапана-партнера (см. руководство ТА № 2).
3. Установить клапан BPV на максимально допустимую величину дифференциального давления для регулирующих радиаторных клапанов.
4. Закрыть все регулирующие радиаторные клапаны на этой ветви.
5. Медленно уменьшать заданную величину, устанавливаемую для клапана BPV, до получения минимального расхода на насосе (см. приложение С).
6. С помощью клапана STAD-1 произвести настройку на расчетный расход в первичной системе. Выполнить эту операцию как часть процесса балансировки для всей первичной системы (см. руководство ТА № 2).

3.4 Постоянный расход в первичном и вторичном контурах

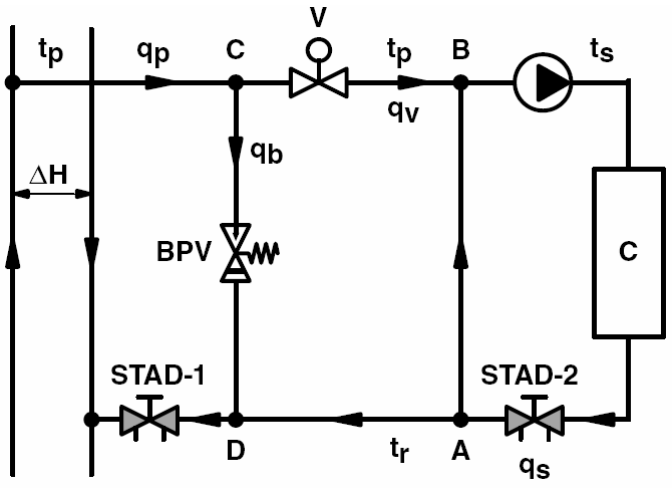


Рисунок 14. Постоянный расход в первичной и вторичной системах.

Терминал (радиатор) поставляют с установкой на постоянный расход. Температуру подаваемой воды изменяют с помощью двухходового регулирующего клапана V. Температура должна быть отрегулирована таким образом, что в отопительной системе $t_s < t_p$, а в системе охлаждения $t_s > t_p$. Клапан BPV сохраняет дифференциальное давление CD постоянным. Расчетная потеря давления предусмотрена для клапана V, коэффициент управления которого приближается к 1 после балансировки.

<u>Порядок выполнения балансировки:</u>

1. Открыть все регулирующие клапаны. Закрыть все клапаны BPV.
2. Если расход в первичной системе неизвестен, рассчитать его по приведенной ниже формуле.
3. С помощью клапана STAD-1 отрегулировать расход в первичной системе. Выполнить это как часть процесса балансировки для всей первичной системы (см. руководство ТА №2) и прежде, чем приступить к этапу 4.
4. Закрыть регулирующий клапан V.
5. Определить расход на STAD-1. Медленно уменьшать величину настройки BPV до тех пор, пока не будет достигнуто 2/3 требуемого расхода на STAD-1.
6. С помощью клапана STAD-2 отрегулировать расход вторичного контура.

$$q_p = q_s \frac{t_{sc} - t_{rc}}{t_p - t_{rc}}$$

(см. также Руководство № 4 - приложение 5.5 для дополнительного пояснения.)

4. Регулируемые контуры с трехходовыми клапанами

4.1 Переменный расход в первичном контуре и постоянный расход во вторичном

Пассивная первичная сеть

Пассивной первичной сетью является распределительная сеть без насоса. Насос вторичной системы обеспечивает напор в первичной и вторичной системах.

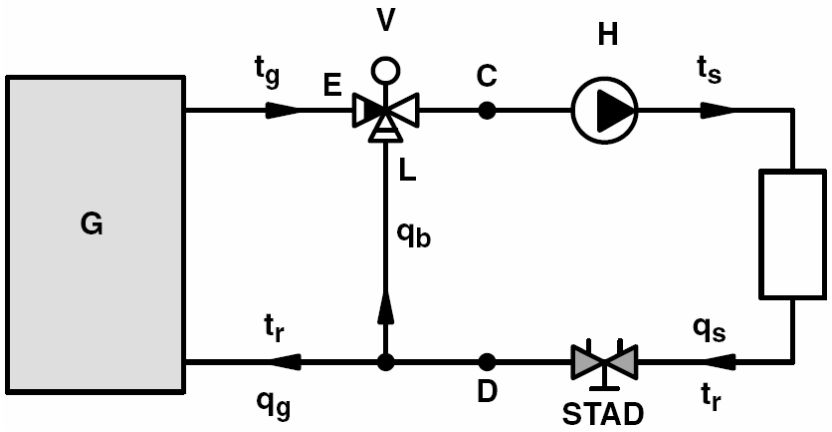


Рисунок 15. Смесительный контур объединен с производственным блоком.

На рисунке 15 представлен контур, регулируемый трехходовым смесительным клапаном. Первичный контур состоит из теплообменника, байпаса или водонагревателя, который может воспринимать нулевой расход или оборудован обводным насосом, способным создавать минимальный расход. Трехходовой клапан выбирают по величине потери давления хотя бы равной этой величине на водонагревателе G и не менее 3 кПа.

Для трехходового смешивающего клапана обычно не требуется ставить балансировочный клапан на линии байпаса.

Порядок выполнения балансировки:

1. Полностью открыть трехходовой клапан.
2. С помощью клапана STAD отрегулировать расчетный расход.

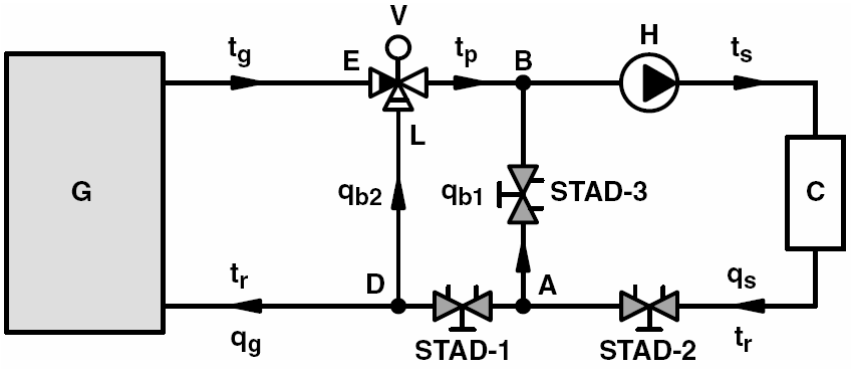


Рисунок 16. Контур смешения с промежуточным байпасом.

Когда расход q_s в контуре превышает требуемый, байпас AB обеспечивает взаимное соответствие расходов.

Падение давления, создаваемое клапаном STAD-3, для расхода воды $q_{b1} = q_{sc} - q_{gc}$, является необходимым дифференциальным давлением для компенсации падений давления на STAD-1 + G + трехходовой клапан.

Падение давления, создаваемое трехходовым регулирующим клапаном для требуемого расхода q_{gc}, должно быть равным или большим, чем требуемое падение давления на G и других устройствах - минимум 3 кПа.

<u>Порядок выполнения балансировки:</u>

1. Открыть регулирующий трехходовой клапан "V".
2. Рассчитать требуемый расход q_{b1} для клапана STAD-3 и расход q_{gc} для STAD-1 с помощью приведенной ниже формулы.
3. STAD-3 и STAD-1 отбалансированы по методу ТА-БАЛАНС (см. Руководство №2 - издание 2).
4. Выставить расход q_s с помощью STAD-2.

$$q_p = q_s \frac{t_{sc} - t_{rc}}{t_p - t_{rc}}, \; q_{b1} = q_{sc} - q_{gc}$$

Активная первичная сеть

Активной первичной сетью является распределительная сеть с собственным насосом. Насос первичной системы создает дифференциальное давление, обеспечивающее напор во вторичных системах.

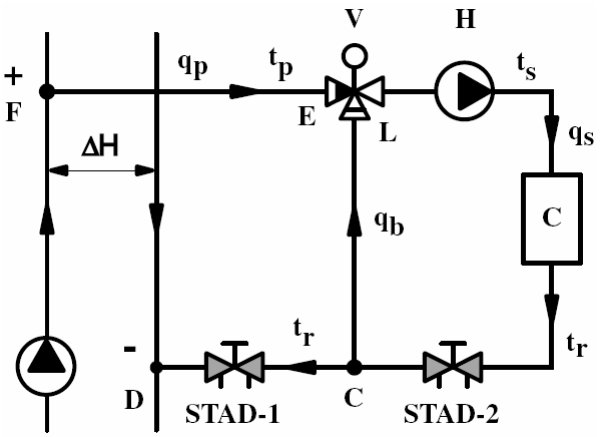


Рисунок 17. Смесительный клапан с дифференциальным давлением в первичной системе и уравнительный балансировочный клапан.

На трехходовой клапан, рисунок 17, подается дифференциальное давление первичной системы ΔH. Это давление нарушает работу трехходового клапана. Расход воды q_b в байпасе может реверсировать и отменить функцию смешения регулирующего клапана.

Чтобы предотвратить этот процесс был установлен балансировочный клапан STAD-1. Для расчетного расхода q_{pc} потеря давления на клапане STAD-1 должна быть равна ΔH.

Требуемое падение давления на трехходовом клапане должно быть равно по крайней мере ΔH, чтобы коэффициент управления был 0.5. Такая потеря давления должна компенсироваться насосом вторичной системы.

<u>Порядок выполнения балансировки:</u>

1. Закрыть трехходовой клапан.
2. С помощью клапана STAD-2 отрегулировать расход во вторичной системе.
3. Открыть трехходовой клапан.
4. Продолжать дозирование расхода с помощью клапана STAD-2. Настроить клапан STAD-1, чтобы добиться расхода, равного расходу на этапе 2. Выполнить это как часть процесса балансировки всей первичной системы (см. руководство ТА № 2).

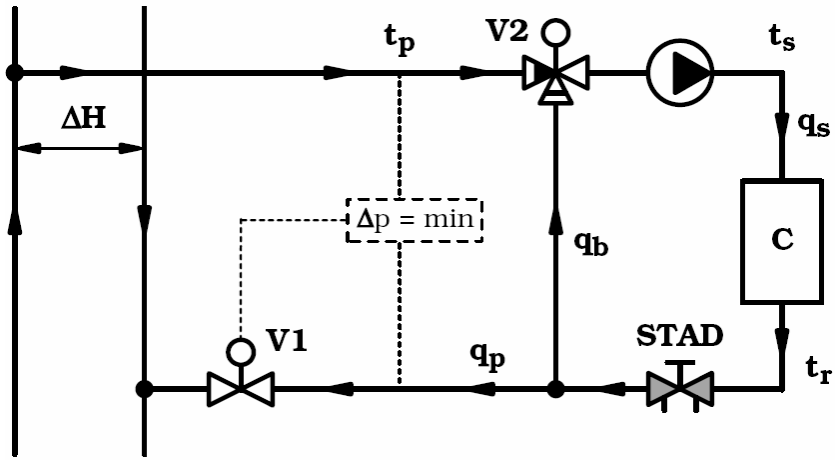


Рисунок 18. Сброс дифференциального давления в первичной системе с помощью контроллера давления.

В некоторых котельных трехходовые клапаны работают неудовлетворительно, что связано со слишком высоким дифференциальным давлением в первичной системе. Как показано на рисунке 18, иногда контроллеры дифференциального давления устанавливают для снятия или снижения этого давления до определенной величины.

Это достаточно дорогостоящее решение. Однако оно может быть учтено, если регулятор дифференциального давления используется для нескольких трехходовых клапанов, и когда требуются системы распределения с переменным расходом. Если подходит постоянный первичный расход, то лучше пользоваться схемой на рисунке 20.

Порядок выполнения балансировки:

1. Закрыть трехходовой клапан.
2. С помощью клапана STAD-2 отрегулировать расчетный расход.
3. Настроить установку контроллера дифференциального давления на величину, по возможности, наиболее близкую к нулю.

4.2 Переменный расход в первичном и вторичном контурах

Пассивная первичная сеть

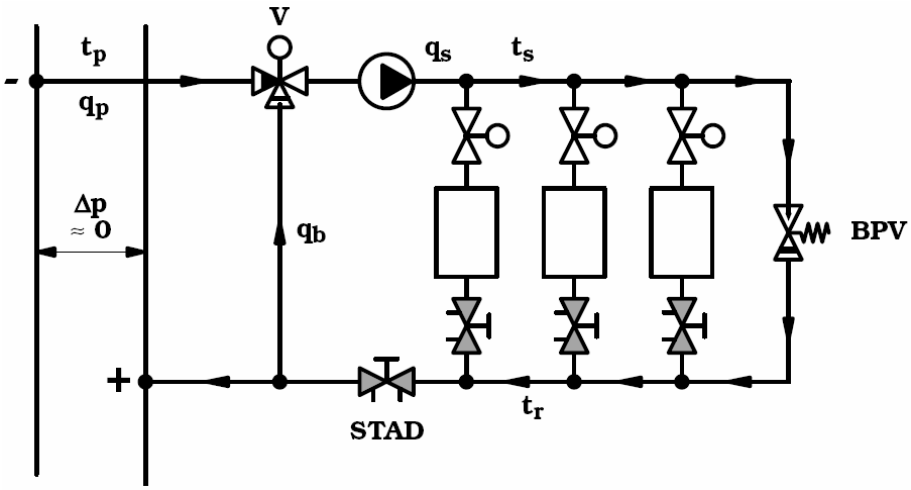


Рисунок 19. Трехходовой клапан регулирует температуру воды в распределительной системе.

Трехходовой клапан регулирует температуру воды. Двухходовые регулирующие клапаны позволяют прекрасно регулировать подачу энергии, подгоняя расход к требуемому.

Коэффициент управления трехходового клапана приближается к величине 1. При низких нагрузках модулирующий предохранительный клапан BPV обеспечивает минимальный расход на насосе и снижает перепад температур в трубопроводе.

Примечание: если расход ниже определенной величины, через трехходовой клапан проходит скорее ламинарный поток, нежели турбулентный. Если трехходовой клапан временно теряет основные характеристики, становится трудно стабилизировать регулируемый контур. Таким образом, минимальный расход, регулируемый клапаном BPV, должен быть достаточно высоким, чтобы обеспечить потерю давления на трехходовом клапане равную минимум 1 кПа.

Порядок выполнения балансировки:

1. Открыть все регулирующие клапаны. Закрыть клапан BPV.
2. С помощью клапана STAD, выполняющего функцию клапана-партнера, произвести балансировку вторичной системы (см. руководство TA № 2).
3. Закрыть все двухходовые регулирующие клапаны.
4. Настроить клапан BPV на получение минимального расхода на насосе (см. приложение C).

4.3 Постоянный расход в первичном и вторичном контурах

Активная первичная сеть

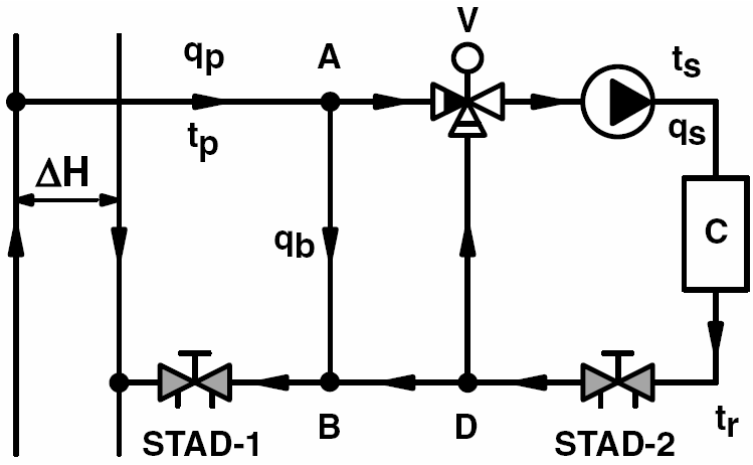


Рисунок 20. Балансировочный клапан STAD-1 и байпас AB снимают дифференциальное давление на трехходовом клапане первичной системы.

Если расход в первичной системе будет постоянным, нетрудно избежать слишком высокого дифференциального давления на трехходовом смесительном клапане первичной системы. Необходимо только установить байпас AB и компенсировать дифференциальное давление в первичной системе с помощью балансировочного клапана STAD-1. Величина коэффициента управления трехходового клапана будет близкой к 1.

<u>Порядок выполнения балансировки:</u>

1. Открыть трехходовой клапан.
2. С помощью клапана STAD-2 отрегулировать расчетный расход во вторичной системе.
3. Если расход q_g в первичной системе не известен, рассчитать его по приведенной ниже формуле.
4. С помощью клапана STAD-1 отрегулировать расход в первичной системе. Выполнить это как часть процесса балансировки всей первичной системы (см. руководство ТА № 2).

$$q_p = q_s \frac{t_{sc} - t_{rc}}{t_p - t_{rc}}$$

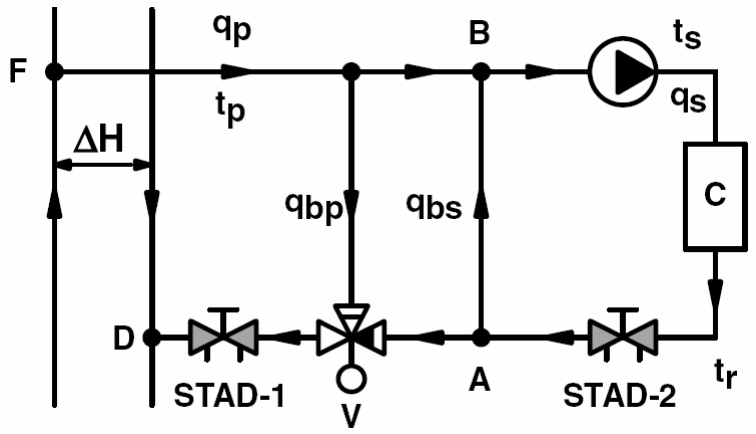


Рисунок 21. Если t_{sc} не равно t_g, лучше на вторичной системе установить байпас.

Если расчетная температура t_{sc} не равна t_g, то часто схеме, представленной на рисунке 20, предпочитают схему, представленную на рисунке 21.

Расход на регулирующем клапане ниже в схеме на рисунке 21, чем в схеме на рисунке 20 (q_g вместо q_s), что позволяет использовать трехходовой клапан меньшего размера.

Величина коэффициента управления трехходового клапана будет близкой к 1.

Порядок выполнения балансировки:

1. Открыть трехходовой клапан.
2. С помощью клапана STAD-2 отрегулировать расчетный расход во вторичной системе.
3. Если расход q_g в первичной системе не известен, рассчитать его по приведенной ниже формуле.
4. С помощью клапана STAD-1 отрегулировать расход в первичной системе. Выполнить это как часть процесса балансировки всей первичной системы (см. ТА руководство № 2).

$$q_p = q_s \frac{t_{sc} - t_{rc}}{t_p - t_{rc}}$$

4.4 Постоянный расход в первичном контуре и переменный расход во вторичном

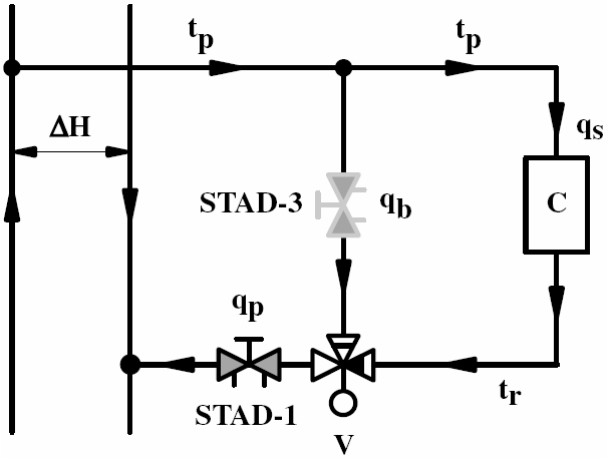


Рисунок 22. Трехходовой смешивающий клапан в контуре с разделением

Трехходовой клапан используют в качестве смешивающего в контуре с разделением, он обеспечивает переменный расход воды, подаваемой на радиатор, и постоянную температуру, сохраняя расход в первичной системе постоянным. Таким образом, трехходовой клапан исключает взаимодействие между контуром и первичной системой.

Трехходовой клапан обеспечивает расчетную величину потери давления, равную или большую, чем величина потери давления в контуре С, обеспечивая величину коэффициента управления не менее 0,5.
Примечание: Основным балансировочным клапаном является клапан STAD-1. Клапан STAD-3 можно не устанавливать, если $\Delta p_C < 0.25\ \Delta H$.

<u>Порядок выполнения балансировки:</u>

1. Открыть трехходовые клапаны.
2. С помощью клапана STAD-1 отрегулировать расчетный расход. Выполнить это как часть процесса балансировки всей первичной системы (см. руководство ТА № 2) прежде чем приступить к выполнению этапа 3.
3. Закрыть трехходовой клапан.
4. Определить расход на клапане STAD-1. С помощью клапана STAD-3 отрегулировать расчетный расход.

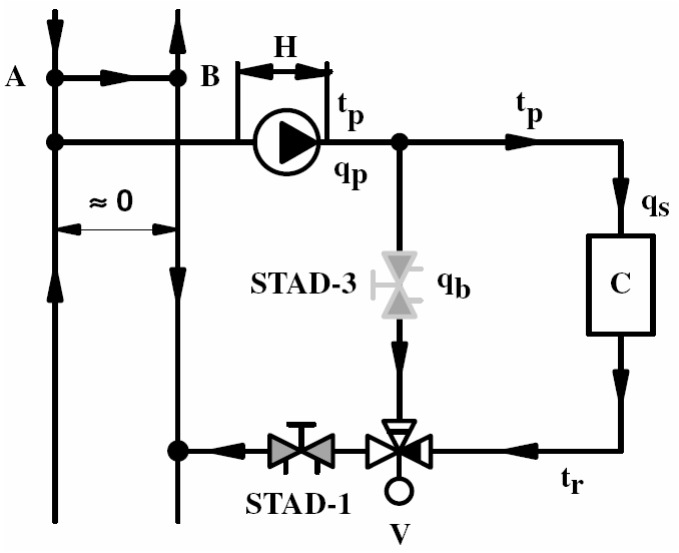


Рисунок 23. Контур системы с разделением при пассивном распределении.

Если распределительная система пассивна (дифференциальное давление не активно), возникает необходимость отделить насос первичной системы. Это может быть насос общий для нескольких контуров.

Примечание: Основным балансировочным клапаном является клапан STAD-1. Клапан STAD-3 можно не устанавливать, если $\Delta p_C < 0{,}25\ \Delta H$.

Порядок выполнения балансировки:

1. Открыть трехходовые клапаны.
2. С помощью клапана STAD-1 отрегулировать расчетный расход. Выполнить это как часть процесса балансировки всей первичной системы (см. руководство ТА № 2), прежде чем приступить к выполнению этапа 3.
3. Закрыть все трехходовые клапаны.
4. Определить расход на клапане STAD-1. С помощью клапана STAD-3 отрегулировать расчетный расход.

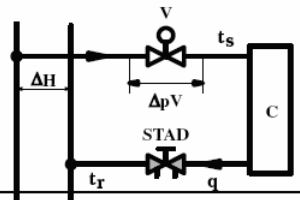
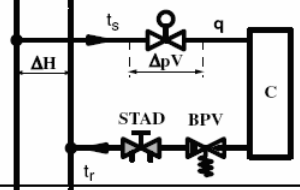
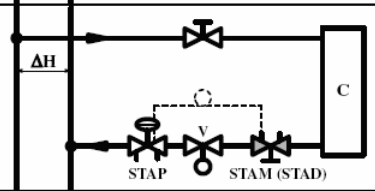
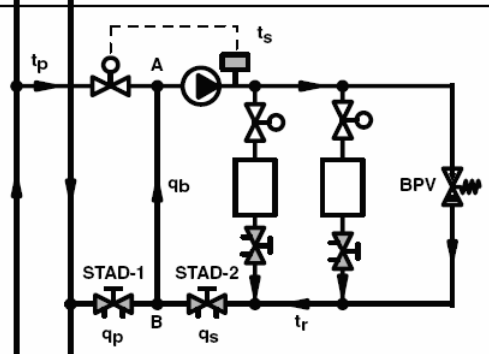
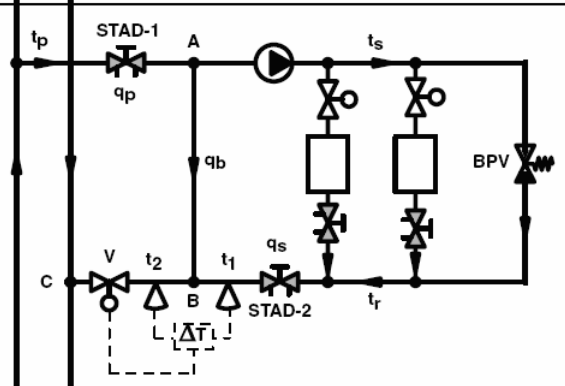
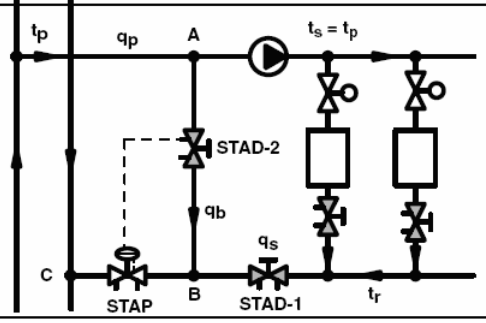
5. Сравнение регулируемых контуров

Переменный расход воды в первичной системе			
Переменный расход воды во вторичной системе		Постоянный расход воды во вторичной системе	
2-х ходовой 3-х ходовой	5 19	2-х ходовой 3-х ходовой	8 – 9 – 10 17 – 18

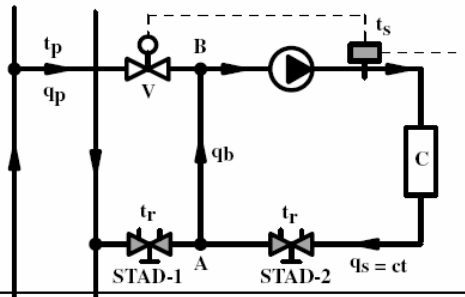
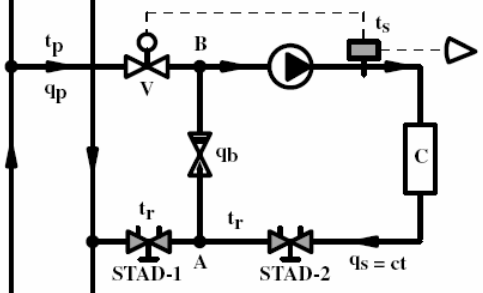
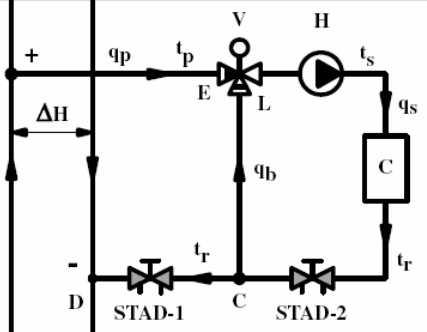
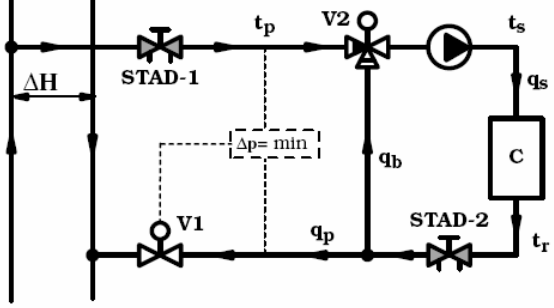
Постоянный расход воды в первичной системе			
Переменный расход воды во вторичной системе		Постоянный расход воды во вторичной системе	
2-х ходовой 3-х ходовой	12 – 13 22	2-х ходовой 3-х ходовой	14 20 – 21

Одинаковые функции с двухходовыми и трехходовыми регулирующими клапанами.

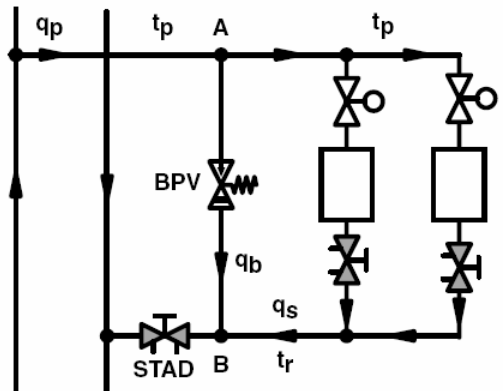
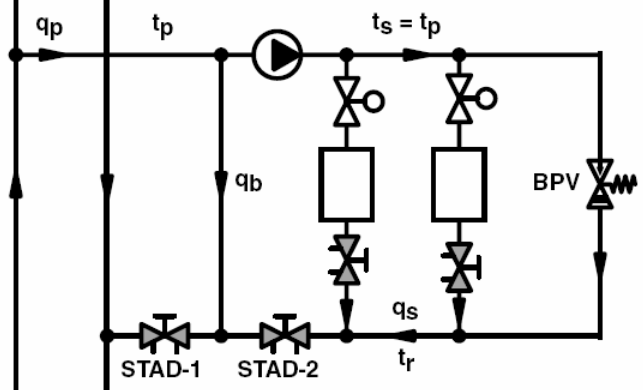
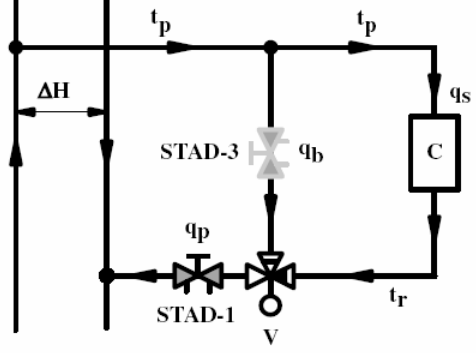
5.1 Активная первичная сеть

	1	$\Delta pV > \Delta H/2$ * $\Delta p_{STAD} = \Delta H - \Delta pV - \Delta pC$ $\beta' = \Delta pV / \Delta H$
	2	$\Delta pV > (\Delta H - \Delta p_{BPV})/2$ * $\Delta p_{STAD} > 3$ kPa $\Delta p_{BPV} = \Delta H - \Delta pV - \Delta pC - \Delta p_{STAD}$ $\beta' = \Delta pV / (\Delta H - \Delta p_{BPV})$
	3	$\Delta pV >$ Min STAP set point ≥10 kPa $\Delta p_{STAM\ (STAD)} \geq 3$ kPa β' close to one
	5	$q_s < q_p$ $\Delta pV > \Delta H/2$ * $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H - \Delta pV$ $\beta' = \Delta pV / \Delta H$
	6	$t_s = t_p$ $q_s < q_p$ $\Delta pV > \Delta H/2$ * $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H - \Delta pV$ $\beta' = \Delta pV / \Delta H$
	7	$t_s = t_p$ $\Delta pV > \Delta H/2$ * $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H - \Delta pV - \Delta p_{STAD-2}$ $\beta' = \Delta pV / \Delta H$

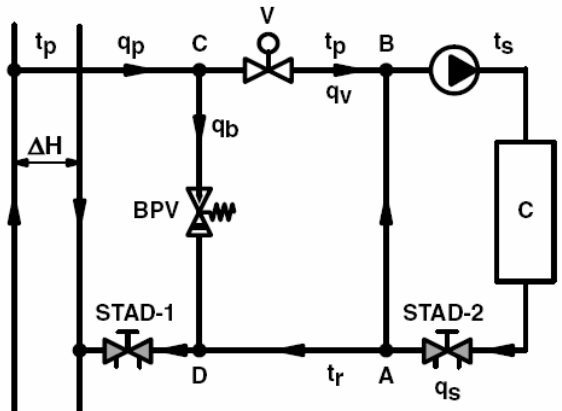
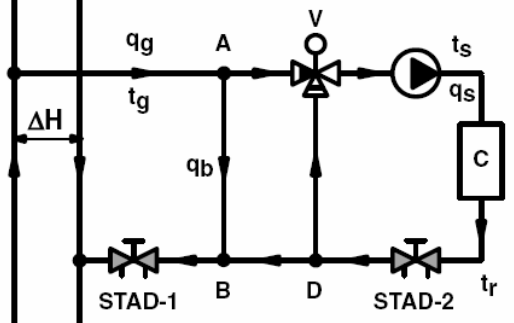
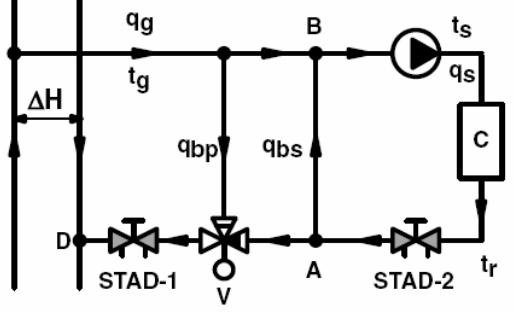
Переменный расход воды в первичной и вторичной системах. Переменные представлены расчетными величинами - рекомендуемые величины (*)

	8	$q_s < q_p$ $\Delta pV > \Delta H/2$ * $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H - \Delta pV$ $\beta' = \Delta pV / \Delta H$
	9	$q_s < q_p$ $\Delta pV > \Delta H/2$ * $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H - \Delta pV$ $\beta' = \Delta pV / \Delta H$
	17	$\Delta pV > \Delta H$ * $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H$ $\beta' = \Delta pV / (\Delta pV + \Delta pH)$
	18	$\Delta pV1 > \Delta H/2$ * $\Delta pV2 > 3$ kPa * $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H - \Delta pV1$ $\beta'_{V1} = \Delta pV1 / (\Delta H - \Delta p)$

Переменный расход воды в первичной системе и постоянный во вторичной системе.
Переменные представлены расчетными величинами
- рекомендуемые величины (*)

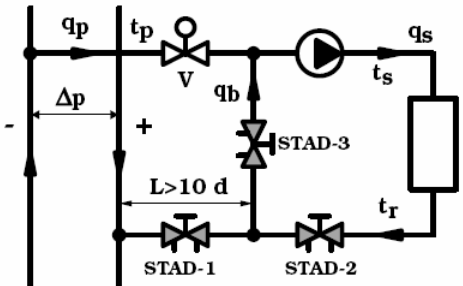
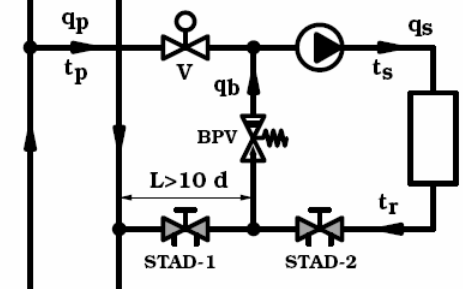
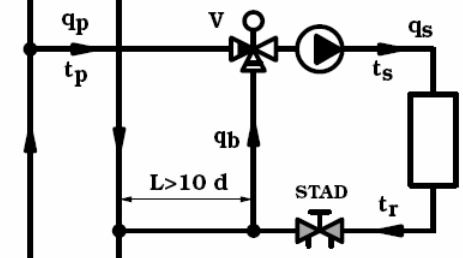
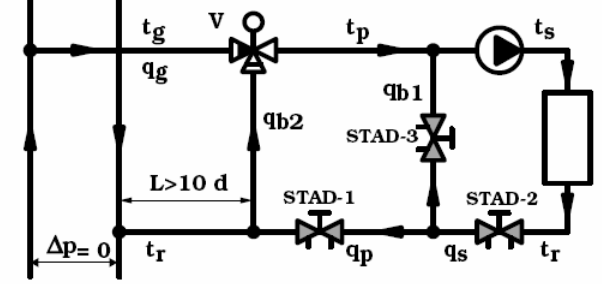
	12	$t_s = t_p$ $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H - \Delta p_{BPV}$
	13	$t_s = t_p$ $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H$
	22	$t_s = t_p$ $\Delta pV > \Delta pC$ * $\Delta p_{STAD-3} = \Delta pC$ $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H - \Delta pV - \Delta pC$ $\beta' = \Delta pV / (\Delta pV + \Delta pC)$

Постоянный расход воды в первичной системе и переменный во вторичной системе.
Переменные представлены расчетными величинами
- рекомендуемые величины (*)

	14	$q_s > q_p$ $\Delta pV > 8$ kPa $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H - \Delta p_{BPV}$ $\beta' = \Delta pV / \Delta p_{BPV}$
	20	$\Delta pV > 3$ kPa * $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H$ $\beta' = 1$
	21	$\Delta pV > 3$ kPa * $\Delta p_{STAD-1} = \Delta H - \Delta pV$ $\beta' = 1$

Постоянный расход воды в первичной и во вторичной системах. Переменные представлены расчетными величинами - рекомендуемые величины (*)

5.2 Пассивная первичная сеть

	(11a)	$q_p < q_s$ Δp_{STAD-3} = $\Delta p1 + \Delta pV + \Delta p_{STAD-1}$ $\Delta p_{STAD-1} \geq 3$ kPa * $\Delta pV \geq \Delta p_{STAD-3} / 2$ * $\beta' = \Delta pV/\Delta p_{STAD-3max}$
	(11b)	$q_p < q_s$ Δp_{BPV} = $\Delta p1 + \Delta pV + \Delta p_{STAD-1}$ $\Delta p_{STAD-1} \geq 3$ kPa * $\Delta pV \geq \Delta p_{STAD-3} / 2$ * $\beta' = \Delta pV/\Delta p_{BPV}$
	(15)	$\Delta pV > \Delta p1$ * $\beta' = \Delta pV / (\Delta pV + \Delta p1)$
	(16)	$q_p < q_s$ $\Delta pV > \Delta p1$ * $\beta' = \Delta pV / (\Delta pV + \Delta p1)$

Постоянный расход воды в первичной системе и переменный во вторичной системе.
Переменные представлены расчетными величинами
- рекомендуемые величины (*)

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Параметры регулирования двухходовых регулирующих клапанов

А1. Неполное определение коэффициента управления клапана.

Статические характеристики регулирующего клапана определяют для постоянного дифференциального давления на клапане. Однако в бойлерной это давление редко бывает постоянным. Таким образом, фактическая характеристика регулирующего клапана не совпадает с теоретической характеристикой.

Если регулирующий клапан полностью открыт, дифференциальное давление Δр мин. равно располагаемому дифференциальному давлению минус потеря давления на терминале, в трубах и арматуре.

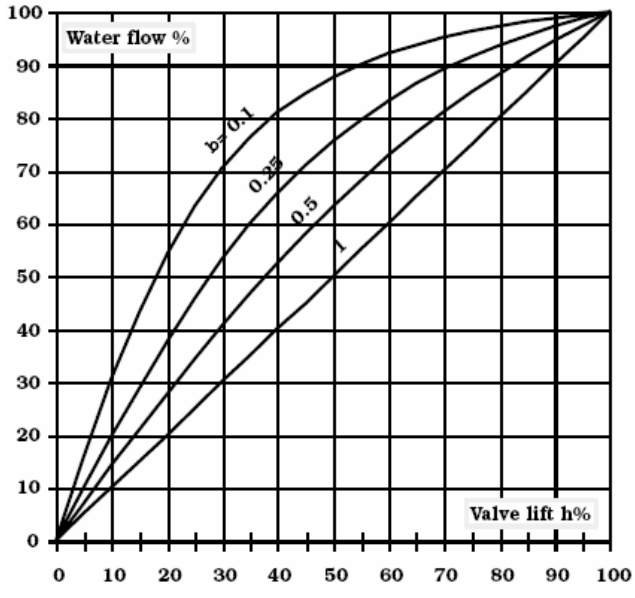
Если регулирующий клапан закрыт, потеря давления на других элементах пропадает, поскольку расход равен нулю. На регулирующий клапан воздействует полное располагаемое дифференциальное давление $\Delta H_{макс} = \Delta p_{макс}$.

Однако калибровка регулирующего клапана основана на $\Delta p_{мин}$, поскольку именно при указанной потере давления возможно получить расчетный расход (клапан полностью открыт).

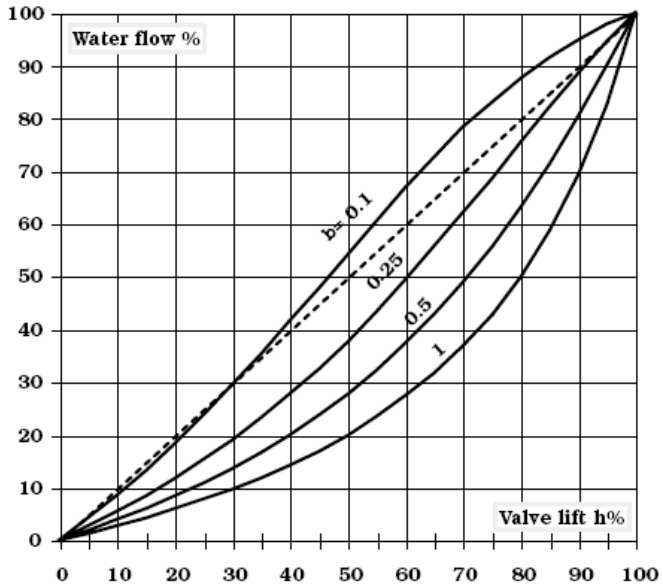
Если клапан почти закрыт, фактический расход выше теоретического, поскольку дифференциальное давление больше $\Delta p_{мин}$. Теоретическая характеристика искажена. Степень такого искажения зависит от соотношения $\Delta p_{мин}/\Delta p_{макс}$.

Это соотношение является коэффициентом управления регулирующего клапана.

$$\beta = \frac{\Delta p_{\min}}{\Delta p_{\max}}$$



Отклонение линейной характеристики клапана как функции его коэффициента управления.



Отклонение "равнопроцентной модифицированной" характеристики клапана как функции его коэффициента управления.

Чем меньше коэффициент управления, тем больше отклонение теоретической характеристики клапана. Рассмотрим клапан с линейной характеристикой, предназначенной для получения расчетного расхода при полностью открытом клапане, но довольно низким коэффициенте управления, равным 0.1 . При 10% подъеме клапана расход в сети составляет около 30%. Предположим, что терминалом является терминал с расчетным перепадом температуры равным 10 К. Тогда расход воды равный 30% обеспечивает 80% расчетной мощности.

В результате мощность на выходе с радиатора составляет 80% расчетной мощности при подъеме клапана только на 10%. При таких условиях трудно надеяться на получение устойчивой регулировки. При такой же величине коэффициента управления ситуация может оказаться значительно хуже, если регулирующий клапан избыточного размера!

Приемлемой является величина коэффициента управления, равная 0.5, поскольку она не деформирует сильно характеристику клапана. Другими словами, потеря давления при расчетном расходе на полностью открытом клапане должна быть эквивалентна хотя бы половине располагаемого дифференциального давления.

Следует отметить, что расчетный расход не входит в определение коэффициента управления клапана. Кривые на рисунке, приведенном ранее, построены на допустимом расчетном расходе при полностью открытом регулирующем клапане. Однако, на практике такое случается редко, поскольку очень трудно избежать некоторой степени превышения размера. Если регулирующий клапан избыточного размера, $\Delta p_{мин}$ снижается, если предполагать, что $\Delta p_{макс}$ - постоянно. Таким образом, коэффициент управления регулирующего клапана также уменьшается. Теоретическая характеристика клапана серьезно изменяется и при низких нагрузках регулировка становится затруднительной. Однако, у регулирующего клапана избыточного размера может быть хороший коэффициент управления. Если дифференциальное давление в сети удваивается, $\Delta p_{мин}$ и $\Delta p_{макс}$ увеличатся в равной пропорции, то коэффициент управления остается неизменным, хотя при этом расход в сети будет избыточным. Что же произойдет с коэффициентом управления клапана в контуре с переменным дифференциальным давлением.

Величины $\Delta p_{мин}$ и $\Delta p_{макс}$ изменятся в равной пропорции. Таким образом, величина коэффициента управления клапана β останется неизменной.

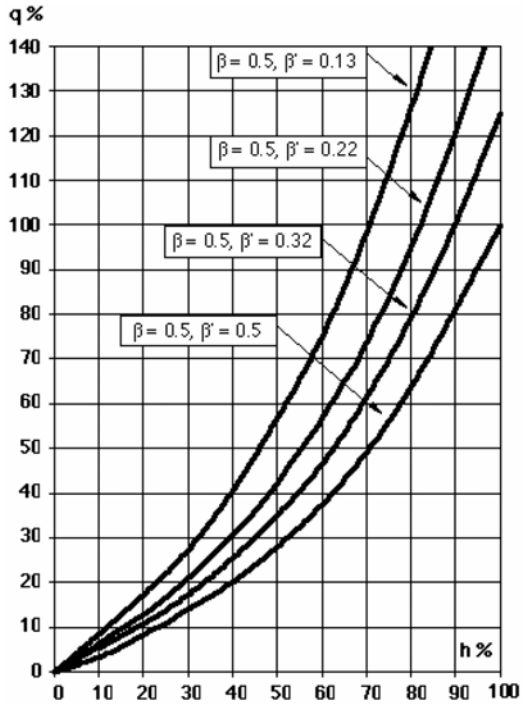
Однако характеристика клапана деформируется, несмотря на то, что коэффициент управления β остается неизменным. Таким образом, коэффициент управления, определение которого приведено ранее, не дает достаточной информации о действительном искажении характеристики клапана.

A.2 Правильное определение коэффициента управления клапана β'

Получено более логичное определение коэффициента управления, выведенное с учетом соотношения потери давления при расчетном расходе на регулирующем клапане с максимальной потерей давления на клапане:

$$\beta' = \frac{\Delta p_{\min}}{\Delta p_{\max}}, \text{ где}$$

Δp_{min} - Δp при полностью открытом клапане и требуемом расходе, Δp_{max} - Δp закрытого клапана.



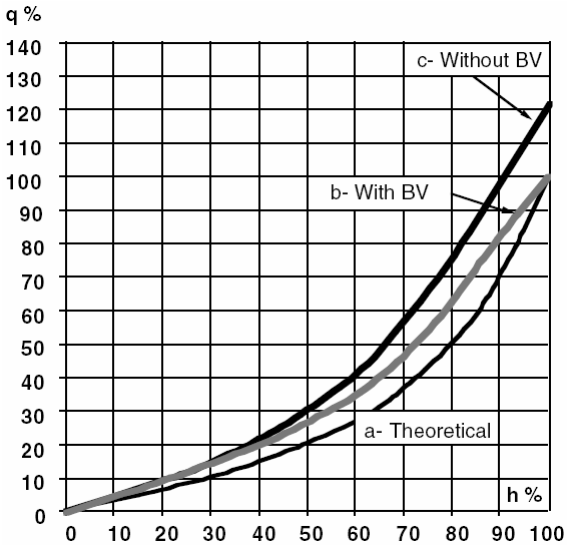
Расход как функция подъема клапана, если давление в контуре подачи изменяется при постоянной величине коэффициента управления β.

На рисунке представлен коэффициент управления β', учитывающий изменение характеристики клапана. Этот фактор не учтен в стандартном определении коэффициента управления β.

Оба коэффициента управления соотносятся друг с другом по следующей формуле (S_q - это коэффициент избыточного расходы):

$$\beta = (S_q)^2 \beta'$$

$S_q > 1$ при открытом клапане. Если максимальный расход равен расчетному расходу, то β = β'.



Влияние ограничения балансировочным клапаном максимального расхода на характеристики регулирующего клапана.

Можно ли балансировочный клапан установить последовательно с регулирующим клапаном?

Обычно на рынке отсутствует клапан с точно рассчитанной величиной k_v. Следовательно, установленный клапан в той или иной мере будет избыточного размера. При запуске системы после снижения температурного режима на ночной период большинство регулирующих клапанов открыто, поэтому избыточный расход на одних участках приводит к недостаточному расходу на других участках. Поэтому важно, чтобы балансировочный клапан ограничивал регулирующий клапан.

На рисунке, приведенном выше, показано, как такое ограничение влияет на характеристики регулирующего клапана.

Без балансировочного клапана избыточный расход на полностью открытом регулирующем клапане составит 22% и, согласно стандартному определению коэффициента управления, этот коэффициент будет равен $\beta = 0.5$. Однако эти данные могут ввести в заблуждение относительно истинной величины коэффициента управления, поскольку величина расхода в данном случае неправильная.

Величина коэффициента $\beta' = 0.34$ учитывает реальное изменение характеристики клапана.

Коэффициент управления β' одинаков при наличии балансировочного клапана и без него и зависит преимущественно от первоначального выбора регулирующего клапана.

Установив балансировочный клапан можно получить правильный расход воды при расчетных условиях и **улучшенную** характеристику регулирующего клапана.

А.3 Подбор регулирующих клапанов

Значение величины k_v.

Регулирующий клапан создает в сети дополнительную потерю давления для ограничения расхода воды в требуемых пределах. Расход воды зависит от дифференциального давления на клапане:

$$q = k_v \sqrt{\frac{\Delta p \times 1{,}000}{\rho}}$$, где

k_v – показатель расхода на клапане, ρ – плотность (для воды ρ = 1,000 кг/м^3 при температуре в 4°С, а при 80°С ρ = 970 кг/м^3), q – расход жидкости, м^3/час, Δp – дифференциальное давление, бар.

Максимальная величина k_v (k_{vs}) достигается при полностью открытом клапане. Эта величина соответствует расходу воды, выраженному в м^3/час, для дифференциального давления равного 1 бару. Регулирующий клапан выбирают таким образом, чтобы величина k_{vs} обеспечивала расчетный расход для данного располагаемого дифференциального давления при работе клапана в заданных условиях.

Не так просто определить необходимую для регулирующего клапана величину k_{vs}, поскольку располагаемое дифференциальное давление на клапане зависит от многих факторов:

- Фактического напора насоса.
- Потери давления в трубах и на арматуре.
- Потери давления на терминалах.

Потери давления в свою очередь зависят от точности балансировки.

При проектировании котельных установок рассчитывают теоретически правильные величины потерь давления и расхода для различных элементов системы. Однако на практике редко различные элементы обладают точно заданными характеристиками. При установке, как правило, выбирают насосы, регулирующие клапаны и терминалы по стандартным характеристикам.

Регулирующие клапаны, например, выпускают с величинами k_{vs}, возрастающими в геометрической пропорции, называемыми рядами Рейнарда:

k_{vs}: 1.0 1.6 2.5 4.0 6.3 10 16.....

Каждая величина приблизительно на 60% больше предыдущей.

Нетипично, чтобы регулирующий клапан обеспечивал точно расчетную потерю давления для заданного расхода. Если, например, регулирующий клапан должен создавать потерю давления равную 10 кПа при заданном расходе, то на практике может оказаться, что клапан незначительно большей величиной k_{vs} создаст потерю давления, равную лишь 4 кПа, а клапан с незначительно меньшей величиной k_{vs} обеспечит потерю давления в 26 кПа для расчетной величины расхода.

Δp (бар), q ($м^3$/ч)	Δp (кПа), q (л/сек)	Δp (мм ВС), q (л/ч)	Δp (кПа), q (л/ч)
$q = k_v \sqrt{\Delta p}$	$q = k_v \sqrt{\Delta p}$	$q = 10\ k_v \sqrt{\Delta p}$	$q = 100\ k_v \sqrt{\Delta p}$
$\Delta p = (q/k_v)^2$	$\Delta p = (36\ q/k_v)^2$	$\Delta p = (0.1\ q/k_v)^2$	$\Delta p = (0.01\ q/k_v)^2$
$k_v = q/\sqrt{\Delta p}$	$k_v = 36\ q/\sqrt{\Delta p}$	$k_v = 0.1\ q/\sqrt{\Delta p}$	$k_v = 0.01\ q/\sqrt{\Delta p}$

Некоторые формулы содержат расход, k_v и Δp (ρ = 1,000 кг/$м^3$)

Кроме того, насосы и терминалы, зачастую, превышают размер по той же причине. Это означает, что регулирующие клапаны работают почти закрытыми, в результате регулировка не может быть устойчивой. Возможно так же, что периодически эти клапаны максимально открываются, при запуске обязательно, что приводит к чрезмерному расходу в данной системе и недостаточному расходу в других. В результате следует задать вопрос:

Что делать, если регулирующий клапан избыточного размера?

Понятно, что, как правило, невозможно точно подобрать необходимый регулирующий клапан.

Рассмотрим случай с калорифером на 2000 Вт, предназначенной для падения температуры на 20 К. Потеря давления составит 6 кПа для расчетного расхода 2000 x 0.86/20 = 86 л/ч. Если располагаемое дифференциальное давление равно 32 кПа и потеря давления в трубах и на арматуре составляет 4 кПа, на регулирующем клапане должна быть разность 32 - 6 - 4 = 22 кПа.

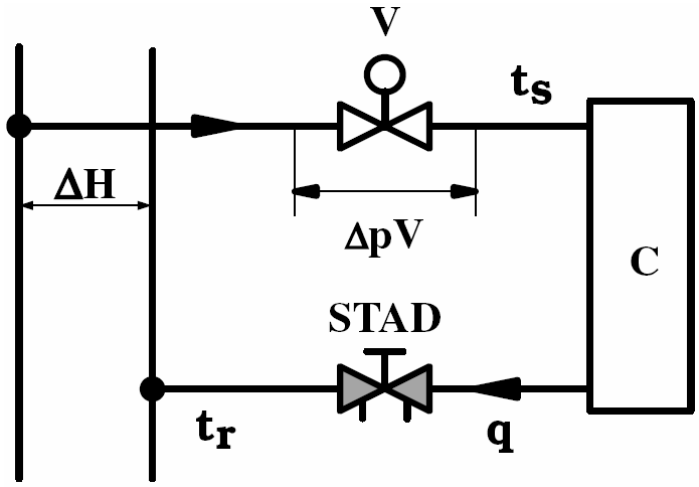
Требуемая величина k_{vs} составит 0,183.

Если минимальная располагаемая величина k_{vs} равна 0.25, например, расход вместо желаемых 86 л/час составит 104 л/час, превышение на 21%.

В системах с переменным расходом величина дифференциального давления на терминалах переменная, поскольку потеря давления в трубах зависит от расхода. Регулирующие клапаны выбирают для расчетных условий. При низких нагрузках максимальный потенциальный расход на всех установках повышен и не возникает опасность чрезмерно низкого расхода на одном отдельном терминале. Если при расчетных условиях требуется максимальная нагрузка, очень важно избежать избыточного расхода.

а) Ограничение расхода с помощью балансировочного клапана, установленного последовательно

Если в расчетных условиях расход на открытом регулирующем клапане выше требуемой величины, для ограничения этого расхода можно последовательно установить балансировочный клапан. Это не изменит действительный коэффициент управления регулирующего клапана, а даже улучшит его характеристику (см. рисунок на странице 51). Балансировочный клапан также является инструментом диагностики и отсечным клапаном.



Балансировочный клапан ограничивает расход на регулирующем клапане, возможно ограничение степени открытия клапана.

б) Снижение максимального подъема клапана

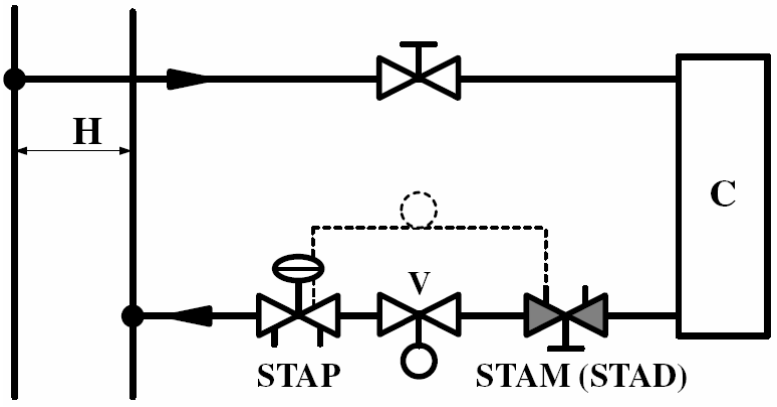
Для компенсации избыточного размера регулирующего клапана можно ограничить степень открытия клапана. Это решение можно рассмотреть для клапанов с равными процентными характеристиками, поскольку можно значительно снизить величину k_v, соответственно уменьшив степень максимального открытия клапана. Если степень открытия клапана снизить на 20%, максимальная величина k_v снизится на 50%.

На практике балансировку производят с помощью последовательно установленных балансировочных клапанов при полностью открытом регулирующем клапане. Балансировочные клапаны настраивают в каждом контуре, чтобы при расчетной величине расхода потеря давления составила 3 кПа.

Степень подъема регулирующего клапана ограничивают при получении на балансировочном клапане 3 кПа. Поскольку установка сбалансирована и остается сбалансированной, то требуемый расход фактически получают в расчетных условиях.

с) Снижение расхода с помощью клапана, регулирующего Δp, в группе.

Дифференциальное давление на регулирующем клапане может быть стабилизировано, как показано на рисунке ниже.



Регулятор Δp поддерживает постоянный перепад давления на регулирующем клапане.

Величина настройки клапана STAP, регулирующего перепад давления, выбирается таким

образом, чтобы получить требуемый расход для полностью открытого регулирующего клапана. В этом случае регулирующий клапан должен быть точно по размеру, а его коэффициент управления — близок к единице. Порядок выполнения балансировки описан на странице 10.

Несколько эмпирических правил

Если двухходовые регулирующие клапаны используют на терминалах, большая часть регулирующих клапанов будет закрыта или почти закрыта при низких нагрузках. Поскольку мал расход воды, потеря давления на трубах и арматуре будет незначительной. Весь напор насоса приходится на регулирующий клапан, который должен быть способен противостоять ему. Такое увеличение дифференциального давления затрудняет регулировку при малом расходе, поскольку фактически коэффициент управления β' значительно уменьшается.

Предположим, что регулирующий клапан спроектирован для потери давления, составляющей 4% напора насоса. Если система работает с низким расходом, дифференциальное давление в этом случае умножают на 25. Для одинаковой величины открытия клапана расход затем умножают на 5 ($\sqrt{25} = 5$).
Клапан принудительно работает в почти закрытом положении. Это может привести к возникновению шума и колебанию регулированной величины (в этих новых рабочих условиях параметры клапана завышаются в пять раз).

Именно поэтому некоторые авторы рекомендуют проектировать систему таким образом, чтобы расчетное падение давления на регулирующих клапанах составляло не мене 25% напора насоса. В этом случае при низких нагрузках превышение расхода на регулирующих клапанах не будет превышать коэффициент 2.

Всегда очень трудно найти регулирующий клапан, способный выдержать столь высокое дифференциальное давление, не создавая при этом шумов. Также трудно найти достаточно малые клапаны, отвечающие вышеуказанным критериям, при использовании терминалов низкой мощности. Кроме того, необходимо ограничить изменения дифференциального давления в системе, например, используя вторичные насосы.

Если принять во внимание указанную дополнительную концепцию, калибровка двухходового регулирующего клапана должна удовлетворять следующим условиям:

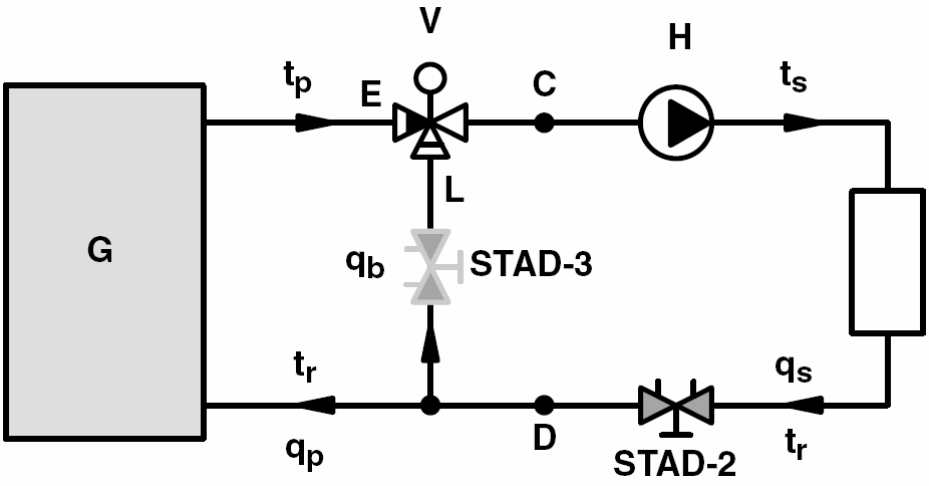
1. При работе системы в нормальных условиях расход на полностью открытом клапане должен быть расчетным. Если расход выше указанного, балансировочный клапан, установленный последовательно, должен ограничить расход. Тогда для контроллера типа PI коэффициент управления равный 0.30 окажется приемлемым. Если значения параметров регулирования ниже, регулирующий клапан следует заменить клапаном меньшего размера.
2. Напор насоса должен быть таким, чтобы потери давления на двухходовых регулирующих клапанах составляли не менее 25% напора насоса.

Для контроллеров вкл-выкл, концепция параметров регулирования не имеет значения, поскольку регулирующий клапан либо открыт, либо закрыт. Поэтому его характеристика не имеет большого значения. В этом случае расход незначительно ограничен последовательно установленным балансировочным клапаном.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Параметры регулирования трехходовых регулирующих клапанов

B.1 Функция смешения
Трехходовой клапан, используемый для смешения воды, способен обеспечить в контуре постоянный расход воды с переменной температурой на входе.

Воду, подаваемую при температуре t_p, смешивают в требуемой пропорции с обратной водой, имеющей температуру t_r, и получают температуру смешанной воды, равную t_s.

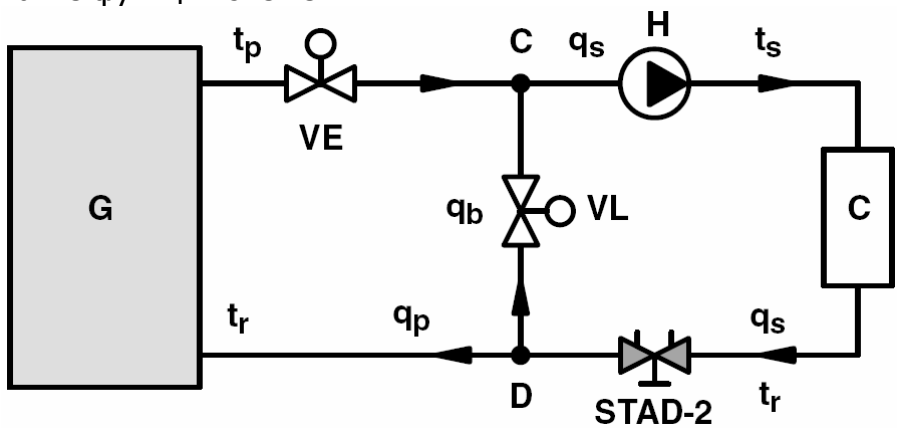


Трехходовой клапан в функции смешения.

Если открывается проходное отверстие E, отверстие L закрывается в равной пропорции. Третье общее отверстие остается открытым. Если отверстие E закрывается, то трехходовой клапан закрывается, и подача энергии с первичной системы прекращается. В этом случае температура t_s становится равна температуре t_r, а затем постепенно достигает средней температуры помещения.

Балансировочный клапан STAD-2 может регулировать расход до нужной величины. В принципе, гидравлическое сопротивление, равное гидравлическому сопротивлению генератора G, создается клапаном STAD-3 в байпасе для создания равного расхода воды q_s независимо от того, закрыт или открыт трехходовой клапан. В этом случае трехходовой клапан сбалансирован.

Параметры регулировки трехходового клапана.
Заменим трехходовой клапан двумя двухходовыми клапанами, работающим реверсивно. Будет получена та же функция смешения.

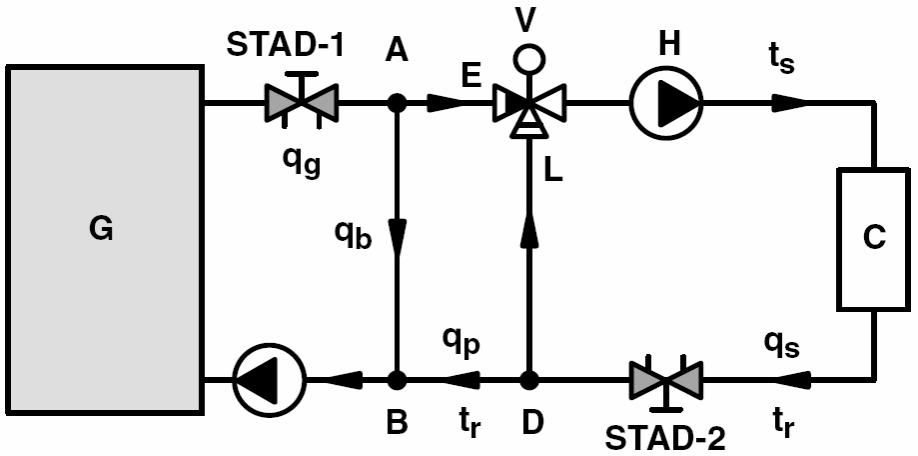


Трехходовой клапан может быть представлен двумя двухходовыми клапанами, работающими реверсивно.

Клапан VE представляет собой регулирующий порт. Его падение давления при требуемом расходе равен Δp_V. Если расход в контуре q_s постоянный, давление, создаваемое насосом H, постоянно, в контуре есть потери давления. В результате разница давления Δp_{DC} – ведичина постоянная. Такая разница давления действует на клапан VE при его закрытии. По определению, коэффициент управления клапана задается отношением $\Delta p_{\text{открытого клапана}}$ к $\Delta p_{\text{закрытого клапана}}$. Имеем:

$$\beta' = \frac{\Delta p_V}{\Delta p_{DC}} = \frac{\Delta p_V}{\Delta p_V + \Delta p_C}$$

Этот коэффициент управления равен 0.5 или больше, если Δp_V больше или равен Δp_G. Это означает, что потеря давления на трехходовом клапане должная быть по крайней мере равна потере давления в контуре переменного расхода G, включая трубы. Контур, представленный ниже, дает постоянный расход, и коэффициент управления трехходового клапана близок к единице.



Байпас AB и первичный насос могут давать постоянный расход, и коэффициент управления трехходового клапана близок к единице

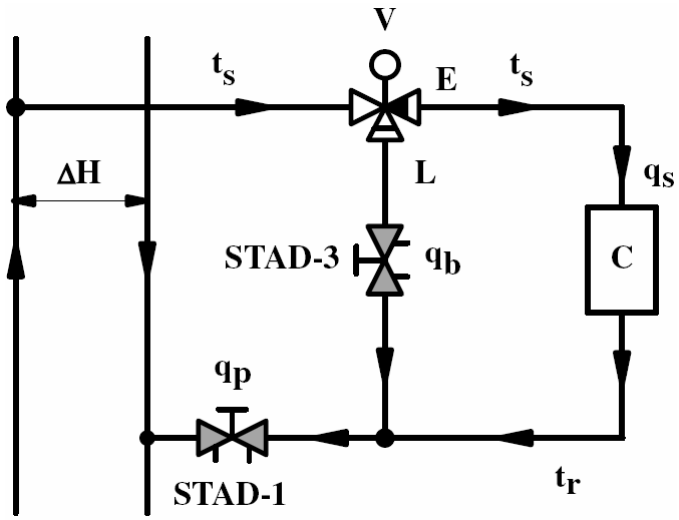
На самом деле, трехходовой клапан забирает из байпаса и возвращает в байпас AB, который по сути, образует виртуальный узел, где нет потерь давления. В этом случае, коэффициент управления трехходового клапана будет:

$$\beta' = \frac{\Delta p_V}{\Delta p_V + \Delta p_{DBAE}}$$

Пока Δp_{DBAE} мало, коэффициент управления регулирующего клапана близок к единице.

B.2 Функция перепускного клапана

Если трехходовой клапан используют в качестве перепускного клапана, он может обеспечить переменный расход и постоянную температуру подаваемой в контур воды, при этом первичный расход остается практически постоянным.



Перепускной клапан, установленный на обводной контур.

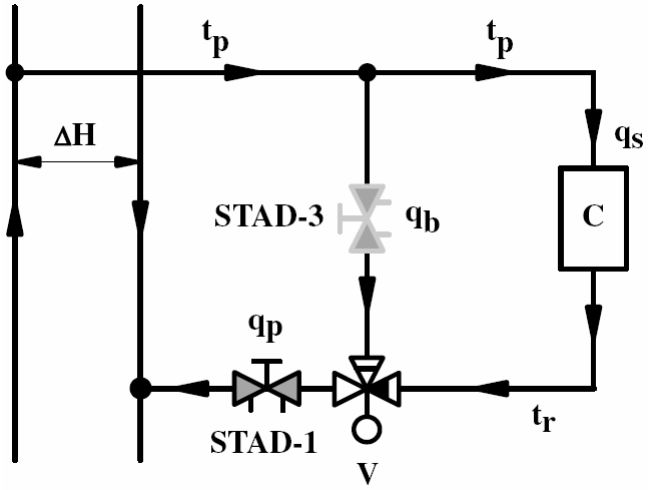
Первичный поток пропускают через отверстие E или перепускают через отверстие L. По существу, расход воды постоянный. Балансировочный клапан STAD-1, расположенный в трубе с постоянным расходом, ограничивает расход, создавая постоянную потерю давления.

Поскольку трехходовой клапан используют в сети распределения для сохранения постоянным первичного расхода, чтобы избежать взаимодействия между контурами, было бы логичным, предпринять определенные действия и гарантировать выполнение этой функции.

Для этого балансировочный клапан STAD-3 устанавливают в байпас, чтобы сохранить падение давления эквивалентным его величине на терминале C при том же расходе. Таким образом, первичный расход не изменяется, если отверстие E или отверстие L полностью открыто, поскольку гидравлическое сопротивление в трубах с этими отверстиями одинаково по величине.

Основным балансировочным клапаном является клапан STAD-1. Клапан STAD-3 может быть исключен, если Δp_C ниже 0.25 ΔH.

Примечание: Трехходовые клапаны, как правило, используют для выполнения функции смешения: два ввода и один вывод. При использовании его в функции перепускного клапана, т.е. один ввод и два вывода, поток воды, проходящий через клапан, циркулирует в направлении противоположном от запланированного. Для некоторых клапанов подобная реверсивная функция может привести к значительному увеличению уровня шума и вибрации.



Обводной контур с трехходовым смесительным клапаном

Вот почему при использовании трехходового смесительного клапана в качестве перепускного, его устанавливают в обратный контур, как показано на рисунке. Той же функции можно добиться при соблюдении направления циркуляции проходящей через клапан воды. В том и в другом случае коэффициент управления следующий:

$$\beta' = \frac{\Delta p_V}{\Delta p_V + \Delta p_C}$$

Чтобы получить значение коэффициента не менее 0.5, потеря давления на трехходовом клапане должна быть равной или большей, чем потеря давления на терминале С.

ПРИЛОЖЕНИЕ D

Как установить клапан BPV, чтобы гарантировать минимальный расход на насосе

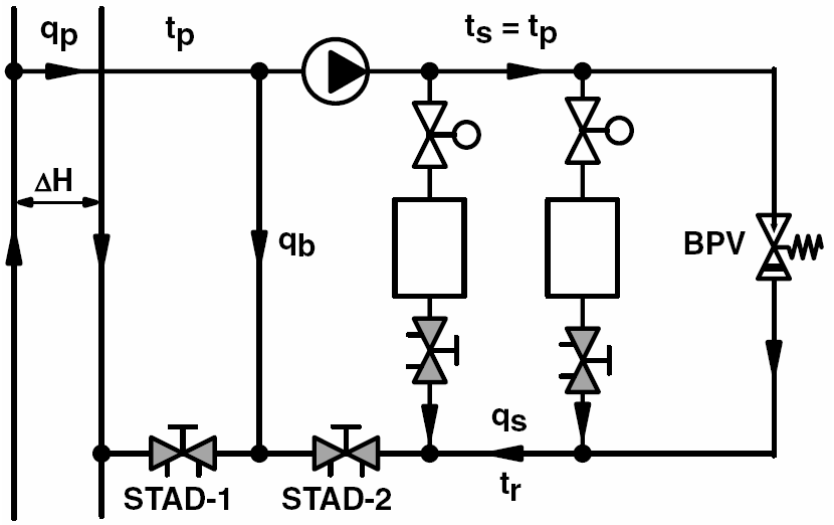
В некоторых случаях модулирующий предохранительный клапан BPV устанавливают, чтобы получить минимальный расход и защитить насос, как показано на рисунке.

Если минимальный расход составляет, например, 10% расчетного расхода, потеря давления на балансировочном клапане STAD-2 составит только 1% потери давления при расчетном расходе. Как правило, это слишком низкая величина, чтобы производить точные замеры. Как замерять столь малый расход, как q_{smin}?

Можно выполнит это следующим способом:

1. Определить положение рукоятки клапана STAD-2, дающее 3 кПа при минимальном расходе q_{smin} на насосе, составляющем, например, 10% расчетного расхода. Чтобы найти правильное регулировочное положение следует воспользоваться блоком CB1 или номограммой TA.
2. Временно настроить клапан STAD-2 на данную установочную величину. Закрыть двухходовые регулирующие клапаны.
3. Медленно открывать клапан BPV, пока на клапане STAD-2 не будет получена минимальная величина расхода насоса q_{smin}.
4. Вновь открыть клапан STAD-2 на заданную величину.

Если регулирующие клапаны контура закрыты и расход q_s превышает величину q_{smin}, клапан BPV открывается. Клапан BPV перепускает поток q_{smin}, пока q_s в контуре с регулирующими клапанами остается выше q_{smin}.



Данный способ приемлем только в том случае, если устройство для замера расхода имеет переменное отверстие, как балансировочный клапан STAD.

ПРИЛОЖЕНИЕ D
Определения

Коэффициент управления: см. приложение A для двухходовых клапанов и приложение B для трехходовых клапанов данного руководства.

Автоматика: что-либо, выполняющее определенные операции без вмешательства человека.

Балансировка: замер и регулировка расхода жидкости для получения необходимых расходов в гидравлических контурах.

Контур: ряд гидравлических компонентов, соединенных трубопроводом, образующих непрерывный замкнутый путь, по которому циркулирует жидкость, являющаяся, как правило, носителем энергии.

Совместимость: два гидравлических контура совместимы, если расход воды в каждом контуре подобран для получения требуемой температуры.

Регулируемый контур: замкнутый контур, включающий сенсор, контроллер, гидроусилитель и регулируемую систему, для поддержания заданного значения регулируемой физической величины.

Расчетная величина: установку рассчитывают для определенных условий с определенными величинами регулируемых переменных, для определенных условий внешней среды, определенной температуры подаваемой и обратной воды. Величины, по которым рассчитывают установку, называют расчетными величинами и обозначаю значком "c" (величины, использованные для расчета).

Дифференциальное давление: разность давлений замеренных между двумя точками.

EQM: равное процентное соотношение характеристики клапана, модифицированное, чтобы избежать прерывания потока около закрытого положения.

Микроклимат помещений: микроклимат помещений определяет ряд физических переменных (температура окружающей среды, поверхность теплоизлучения, скорость циркуляции воздуха, относительная влажность), комбинация которых дает ощущение комфорта или дискомфорта.

Нестабильность: регулируемый контур считается нестабильным, если регулируемые переменные постоянно колеблются, не находя устойчивого положения. Кроме крайних нагрузок (нулевых или максимальных), контроллер вкл-выкл неустойчив значительно.

Взаимодействие: два контура считаются взаимодействующими, если изменение расхода воды в одном из них, изменяет расход воды в другом.

Граница раздела: точка, в которой встречаются два контура и в которой, как правило, происходит энергетический обмен. Контуры обычно делятся на первичный контур и вторичный контур. При стандартных рабочих условиях энергия из первичного контура переходит во вторичный.

Падение давления: падение давления возникает в результате трения в трубах или в иных элементах, по которым циркулирует жидкость.

Предохранительный клапан: клапан автоматического сброса давления, открывающийся пропорционально увеличению давления относительно заданной величины. Он может выполнять одну, две или три из нижеуказанных функций: (1) стабилизирует дифференциальное давление на регулирующем клапане, (2) обеспечивает минимальный расход с целью зашиты насоса и (3) ограничивает снижение или увеличение температуры в трубах.

Напор насоса: дифференциальное давление, создаваемое насосом и подаваемое в контур для циркуляции воды или другой жидкости под давлением. Обычно его называют напором жидкости.

Заданная величина: используется в регулируемых контурах и выбирается пользователем для достижения поставленных целей. Контроллер должен поддерживать физическую переменную максимально приближенной к заданной величине, несмотря на различные неисправности, влияющие на регулируемую систему.

Падение и возрастание температуры: разность температур жидкости, замеряемой между подающим и обратным трубопроводом терминала или отопительной установки или, в более общем значении, разность температур между двумя точками системы.

Терминал: любое устройство, передающее тепло или холод в помещение прямым или косвенным способом (радиатор, греющий или охлаждающий змеевик).

Комплексная балансировка: общая концепция получения оптимального микроклимата помещений, предусматривающая использование динамичной методики для гидравлических систем, являющейся фактором оптимизации работы этих систем; эта методика включает пять этапов:

1. Убедиться, что концепция регулировки совместима с гидравлической конструкцией.
2. Выбрать соответствующие контроллеры и регулировочные клапаны с правильными характеристиками.
3. Убедиться, что регулирующие клапаны всегда работают в соответствующих эксплуатационных условиях.
4. Добиться необходимого расхода на терминалах в расчетных условиях и приблизительно того же расхода при иных условиях.
5. Обеспечить совместимость расходов на всех границах раздела.

Полное давление: сумма статического и динамического давления в определенной точке.

Характеристика клапана: отношение расхода воды на клапане к подъему клапана, предполагая, что дифференциальное давление на клапане остается постоянным. Расход и подъем клапана выражены как процент их максимальных величин.