

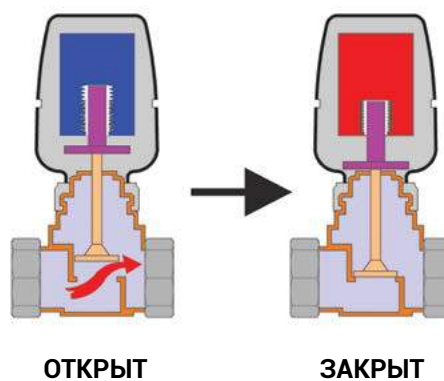
Особенности расчета систем отопления с термостатическими клапанами

Радиаторные термостатические клапаны по сравнению с ручными радиаторными клапанами имеют особенности при гидравлическом расчёте. Эти особенности связаны со спецификой работы клапана в системе отопления.

Эти клапаны управляются термочувствительным элементом (термоголовкой), внутри которого находится сильфонная ёмкость, заполненная рабочим телом (газ, жидкость, твёрдое вещество) с высоким коэффициентом объемного расширения. При изменении температуры воздуха, окружающего сильфон, рабочее тело расширяется или сжимается, деформируя сильфон, который, в свою очередь, воздействует на шток клапана, открывая или закрывая его (рис. 1).



рис.1 Схема работы термостатического клапана



Основной гидравлической характеристикой термостатического клапана является пропускная способность K_v . Это расход воды, который способен пропустить через себя клапан при перепаде давления на нём в 1 бар. Индекс «V» обозначает, что коэффициент отнесен к часовому объёмному расходу и измеряется в $\text{м}^3/\text{час}$. Зная пропускную способность клапана и расход воды через него, можно определить потерю давления на клапане по формуле:

$$\Delta P_k = \left(\frac{V}{k_v} \right)^2 \cdot 100 ; [\text{кПа}]$$

Регулирующие клапаны, в зависимости от степени открытия, имеют разную пропускную способность. Пропускная способность полностью открытого клапана обозначается K_{vs} . Потери давления на термостатическом радиаторном клапане при гидравлических расчетах, как правило, определяются не при полном открытии, а для определенной зоны пропорциональности - X_p .

■ X_p – это зона работы термостатического клапана в интервале от температуры воздуха при полном закрытии (точка S на графике регулирования) до установленного пользователем значения допустимого отклонения температуры. Например, если коэффициент K_v дан при $X_p=S-2$, и термозаэлемент установлен в такое положение, что при температуре воздуха 22°C клапан будет полностью закрыт, то этот коэффициент будет соответствовать положению клапана при температуре окружающего воздуха 20°C.

Отсюда можно сделать вывод, что температура воздуха в помещении будет колебаться в пределах от 20 до 22°C. Показатель X_p влияет на точность поддержания температуры. При $X_p=(S-1)$ диапазон поддержания температуры внутреннего воздуха будет в пределах 1°C. При $X_p=(S-2)$ – диапазон 2°C. Зона $X_p=(S-\max)$ характеризует работу клапана без термочувствительного элемента.

В соответствии с **ГОСТ 30494-2011** «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», в холодный период года в жилой комнате оптимальные температуры лежат в пределах от 20 °С до 22 °С, то есть, диапазон поддержания температуры в жилых помещениях зданий должна быть 2°C. Таким образом, для расчёта жилых зданий требуется выбор значений пропускной способности при $X_p=(S-2)$.

рис.2 Термостатический клапан VT.031

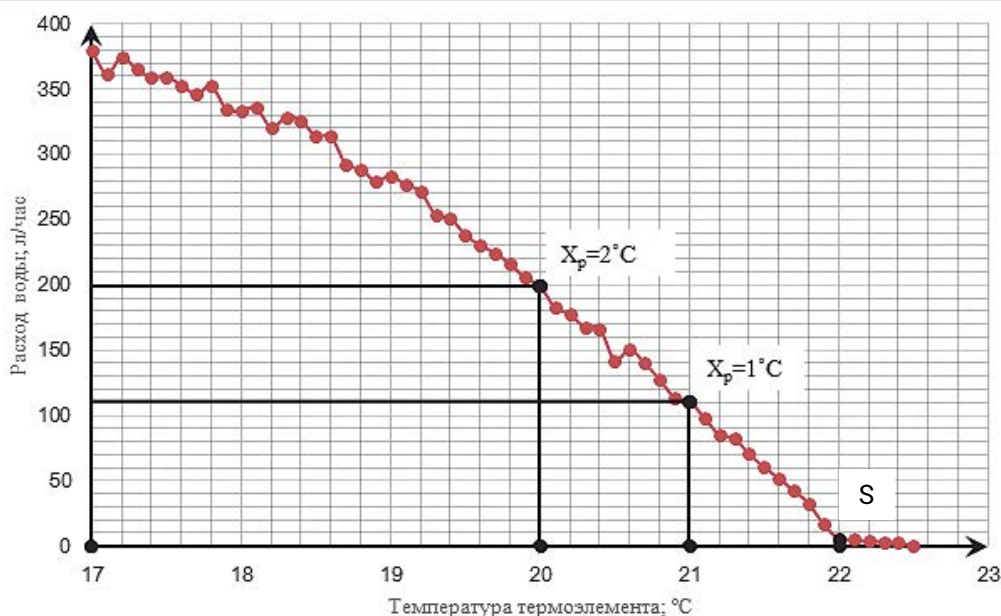
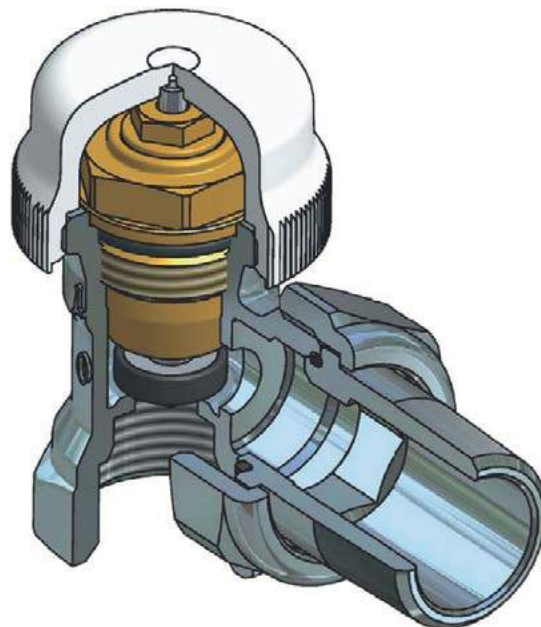


рис.3
График закрытия
клапана VT.031,
с термозаэлементом
VT.5000 (поз.3)
при перепаде давлений
10 кПа

На графике (рис. 3) показаны результаты стендового испытания термостатического клапана VT.031 (рис. 2) с термостатическим элементом VT.5000 с установленным значением «3». Точка S на графике это теоретическая точка закрытия клапана. Это температура, при которой клапан имеет настолько маленький расход, что его можно считать, практически, закрытым.

Как видно на графике, клапан закрывается при температуре 22°C. При понижении температуры воздуха, пропускная способность клапана увеличивается. На графике показаны значения расхода воды через клапан при температуре 21°C (S-1) и 22°C (S-2).

Таблица 1 Паспортные значения пропускной способности клапана VT.031

| | | |
|--|-------|------|
| DN клапана | | 1/2" |
| Значение коэффициента пропускной способности Kv при Xp; м³/час | S-1 | 0,35 |
| | S-1,5 | 0,45 |
| | S-2 | 0,63 |
| | S-3 | 0,9 |
| Kvs; м³/час | | 1,2 |

В **таблице 1** представлены паспортные значения пропускной способности термостатического клапана VT.031 при различных Xp.

Клапаны испытываются на специальном стенде, показанном на **рисунке 4**. В ходе испытаний поддерживается постоянный перепад давления на клапане равный 10 кПа. Температура воздуха имитируется при помощи термостатической ванны с водой, в которую погружается термоголовка. Температура воды в ванне постепенно повышается, при этом фиксируются расходы воды через клапан до полного закрытия.

Кроме значений пропускной способности термостатические клапаны характеризуются таким показателем, как максимальный перепад давления. Это такой перепад давления на клапане, при котором он сохраняет паспортные регулировочные характеристики, не создаёт шум, а также, при котором все элементы клапана не будут подвержены преждевременному износу.

В зависимости от конструкции, термостатические клапаны имеют различные значения максимального перепада давления. У большинства представленных на рынке радиаторных термостатических клапанов эта характеристика составляет 20 кПа. При этом, согласно **п. 5.2.4 ГОСТ 30815-2002**, температура, при которой клапан закрывается, при максимальном перепаде давления, не должна отличаться от температуры закрытия при перепаде давления 10 кПа более чем на 1°C.

На графике (**рис. 5**) видно, что клапан VT.031 при перепаде давления 10 кПа и уставке термозлемента «3» закрывается при 22°C.

рис.4 Стендовые испытания клапана VT.032 на пропускную способность по ГОСТ 30815-2002

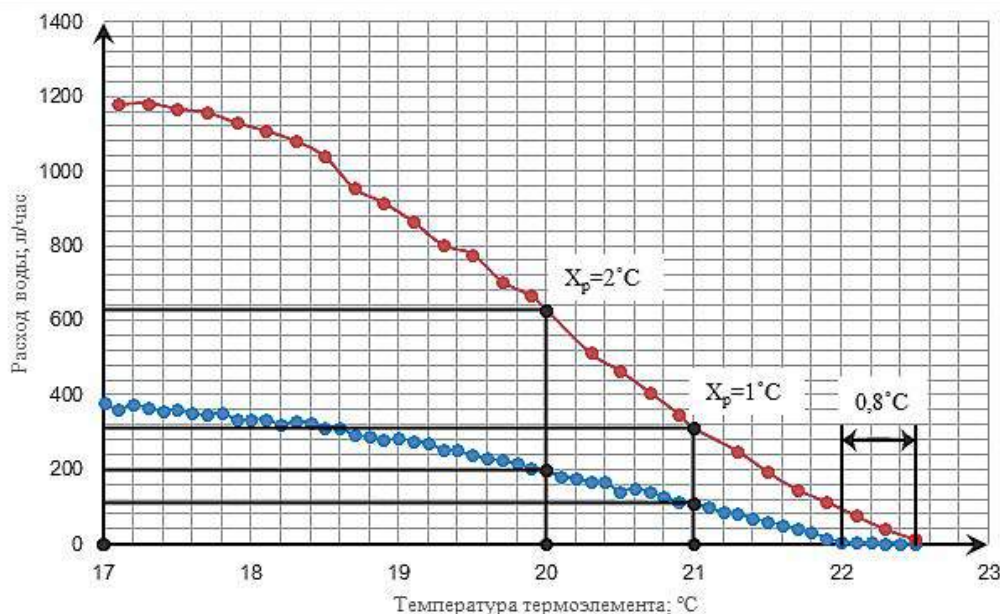


рис.5
Графики закрытия клапана VT.031, с термозлементом VT.5000: при перепаде давления 10 кПа (синяя линия) и 100 кПа (красная линия)

При перепаде давления 100 кПа клапан закрывается при температуре 22,8°С. Влияние дифференциального давления составляет 0,8°С. Таким образом, в реальных условиях эксплуатации такого клапана при перепадах давления от 0 до 100кПа, при настройке термoeлементa на цифру «3», диапазон температур закрытия клапана составит от 22 до 23°С.

Если в реальных условиях эксплуатации перепад давления на клапане вырастет больше максимального, то клапан может создавать недопустимый шум, а также его характеристики будут существенно отличаться от паспортных.

Из-за чего же происходит увеличение перепада давления на термостатическом клапане во время эксплуатации? Дело в том, что в современных двухтрубных системах отопления расход теплоносителя в системе постоянно меняется, в зависимости от текущего теплотребления. Какие-то терморегуляторы открываются, какие-то – закрываются. Изменение расходов по участкам приводит к изменению распределения давлений.

Для примера рассмотрим простейшую схему (рис. 6) с двумя радиаторами. Перед каждым радиатором установлен термостатический клапан. На общей линии находится регулирующий вентиль.

Допустим, что потери давления на каждом термостатическом клапане составляет 10 кПа, потери давления на вентиле - 90 кПа, общий расход теплоносителя 0,2 м³/час и расход теплоносителя через каждый радиатор - 0,1 м³/час. Потери давления в трубопроводах пренебрегаем. Полные потери давления в этой системе составляют 100 кПа, и они поддерживаются на постоянном уровне. Гидравлику такой системы можно представить следующей системой уравнений:

$$\Delta P_0 = \left(\frac{V_0}{k_{vB}}\right)^2 \cdot 100 + \left(\frac{V_p}{k_{т.к.}}\right)^2 \cdot 100 = 100 \text{ кПа}$$

$$k_{vB} = \frac{V_0}{\sqrt{\Delta P_B/100}} = \frac{0,2}{\sqrt{90/100}} = 0,21 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$k_{т.к.} = \frac{V_p}{\sqrt{\Delta P_{т.к.}/100}} = \frac{0,1}{\sqrt{10/100}} = 0,32 \text{ м}^3/\text{час}$$

Где: V_0 – общий расход; [м³/час]

V_p – расход через радиаторы; [м³/час]

k_{vB} – пропускная способность вентилей; [м³/час]

$k_{т.к.}$ – пропускная способность термостатических клапанов; [м³/час]

ΔP_B – перепад давления на вентиле; [Па]

$\Delta P_{т.к.}$ – перепад давления на термостатическом клапане; [Па]

рис.6 Расчетная схема с 2-мя радиаторами

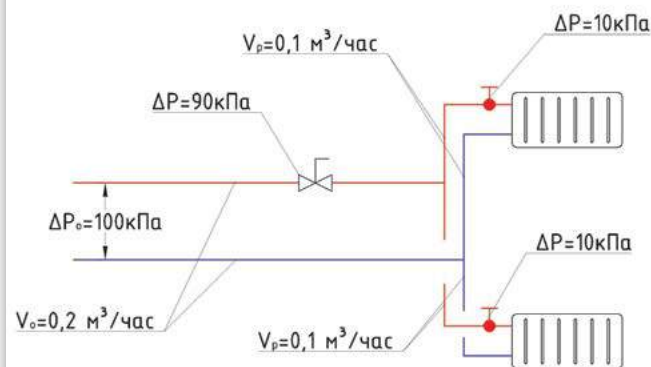
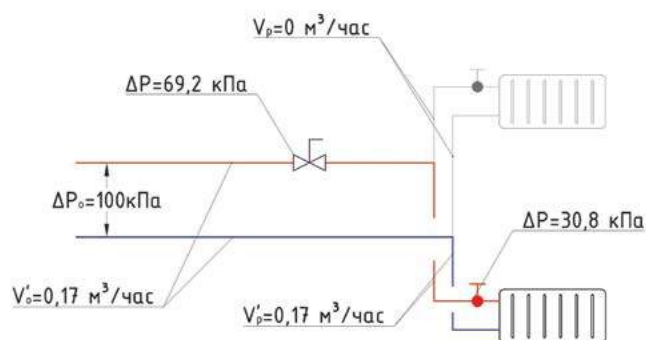


рис.7 Расчетная схема с отключенным радиатором



Предположим, что в помещении, где установлен верхний радиатор, температура увеличилась, и термостатический клапан полностью перекрыл поток теплоносителя через него (рис 7). В этом случае весь расход будет идти только через нижний радиатор. Перепад давления в системе выразится следующей формулой:

$$\Delta P_0 = \left(\frac{V'_0}{k_{vB}}\right)^2 \cdot 100 + \left(\frac{V'_p}{k_{т.к.}}\right)^2 \cdot 100 = 100 \text{ кПа}$$

Где V'_0 – общий расход в системе после отключения одного термостатического клапана; [м³/час]

V'_p – расход теплоносителя через радиатор, в данном случае он будет равен общему расходу; [м³/час].

Если принять во внимание, что перепад давления поддерживается постоянным (равным 100 кПа), то можно определить расход, который установится в системе после отключения одного из радиаторов.

$$V'_0 = \sqrt{\frac{\Delta P_0 / 100}{\frac{1}{k_{VB}^2} + \frac{1}{k_{VT.K.}^2}}} = \sqrt{\frac{100 / 100}{\frac{1}{0,21^2} + \frac{1}{0,32^2}}} = 0,176 \text{ м}^3/\text{час}$$

Потери давления на вентиле снизятся, так как общий расход через вентиль уменьшился с 0,2 до 0,176 м³/час. Потери давления на термостатическом клапане наоборот вырастут, потому что расход через него вырос с 0,1 до 0,176 м³/час. Потери давления на вентиле и термостатическом клапане составят:

$$\Delta P_B = \left(\frac{V'_0}{k_{VB}}\right)^2 \cdot 100 = \left(\frac{0,176}{0,21}\right)^2 \cdot 100 = 69,9 \text{ кПа}$$

$$\Delta P_{T.K.} = \left(\frac{V'_0}{k_{VT.K.}}\right)^2 \cdot 100 = \left(\frac{0,176}{0,32}\right)^2 \cdot 100 = 30,1 \text{ кПа}$$

Из приведённых расчетов можно сделать вывод, что перепад давления на термостатическом клапане нижнего радиатора при открытии и закрытии термостатического клапана верхнего радиатора будет варьироваться от 10 до 30,1 кПа.

Но что будет, если оба клапана перекроют движение теплоносителя? В этом случае потери давления на вентиле будут нулевыми, так как движения теплоносителя через него не будет. Следовательно, разница давлений до золотника/после золотника в каждом радиаторном клапане будет равна располагаемому напору и составит 100 кПа.

Если используются клапаны с допустимым перепадом давлений меньше этой величины, то клапан может открыться, несмотря на отсутствии реальной потребности в этом. Поэтому, перепад давлений на регулируемом участке сети должен быть ниже максимально допустимого перепада давления на каждом терморегуляторе.

Предположим, что вместо двух радиаторов в системе установлено некое множество радиаторов. Если в какой-то момент все терморегуляторы, кроме одного, закроются, то потери давления на вентиле будут стремиться к 0, а перепад давления на открытом термостатическом клапане будет стремиться к располагаемому напору, т.е., для нашего примера, к 100 кПа.

В этом случае расход теплоносителя через открытый радиатор будет стремиться к величине:

$$V''_p = \sqrt{\Delta P_B / 100} \cdot k_{VT.K.} = \sqrt{100 / 100} \cdot 0,32 = 0,316 \text{ м}^3/\text{час}$$

То есть, в самом неблагоприятном случае (если из множества радиаторов открытым останется только один) расход на открытом радиаторе вырастет более чем в 3 раза.

Насколько же изменится мощность отопительного прибора при таком увеличении расхода? Теплоотдача Q секционного радиатора считается по формуле:

$$Q = \left(\frac{\Delta t_{cp} - t_B}{70}\right)^{1+n} \cdot \left(\frac{V_{np} \cdot 1000}{360}\right)^p \cdot Q_n$$

Где: Q_n – номинальная мощность отопительного прибора [Вт];

Δt_{cp} – средняя температура отопительного прибора [°C];

t_B – температура внутреннего воздуха [°C];

V_{np} – расход теплоносителя через отопительный прибор;

n – коэффициент зависимости теплоотдачи от средней температуры прибора;

p – коэффициент зависимости теплоотдачи от расхода теплоносителя;

Предположим, что отопительный прибор имеет номинальную теплоотдачу Q_n=2900 Вт, расчётные параметры теплоносителя 90/70 °C. Коэффициенты для радиатора принимаются: n=0,3, p=0,015. В расчётный период при расходе 0,1 м³/час такой отопительный прибор будет иметь мощность;

$$Q = \left(\frac{80 - 20}{70}\right)^{1,3} \cdot \left(\frac{0,1 \cdot 1000}{360}\right)^{0,015} \cdot 2900 = 2326 \text{ Вт.}$$

$$\text{где: } \Delta t_{cp} = \frac{90+70}{2} = 80^\circ\text{C}$$

Чтобы узнать мощность прибора при V_p''=0,316 м³/час необходимо решить систему уравнений:

$$Q = \left(\frac{\Delta t_{cp} - t_B}{70}\right)^{1,3} \cdot \left(\frac{V''_p \cdot 1000}{360}\right)^{0,015} \cdot Q_n$$

$$\Delta t_{cp} = t_1 + \frac{(Q \cdot 3,6)}{(4187 \cdot V''_p)}$$

Методом последовательных приближений получаем решение этой системы уравнений:

$$Q = \left(\frac{82,6 - 20}{70}\right)^{1,3} \cdot \left(\frac{0,316 \cdot 1000}{360}\right)^{0,015} \cdot 2900 = 2711 \text{ Вт.}$$

$$\Delta t_{cp} = 90 + \frac{(2711 \cdot 3,6)}{(4187 \cdot 0,316)} = 84,5^\circ\text{C}$$

Отсюда можно сделать вывод, что в системе отопления при самых неблагоприятных условиях, когда все отопительные приборы, кроме одного, на участке перекрыты, перепад давления на термостатическом клапане может вырасти до располагаемого напора. В приведенном примере при располагаемом напоре 100 кПа расход увеличится в 3 раза, при этом мощность прибора возрастёт всего на 17%.

Повышение мощности отопительного прибора приведёт к увеличению температуры воздуха в отапливаемом помещении, что, в свою очередь, вызовет закрытие термостатического клапана. Таким образом, колебание перепада давления на термостатическом клапане во время эксплуатации в пределах паспортного максимального значения перепада является допустимым, и не приведет к нарушению в работе системы.

рис.8 Технические характеристики клапана

| № | Характеристика | Значение | Пояснение |
|---|--|--------------|--|
| 1 | Средний полный срок службы | 30 лет | |
| 2 | Рабочее давление, МПа | до 1,0 | |
| 3 | Пробное давление, МПа | 1,5 | Давление опрессовки перед вводом в эксплуатацию |
| 4 | Температура рабочей среды, °С | До +120 | |
| 5 | Допустимая температура среды окружающей клапан, °С | От +5 до +55 | |
| 6 | Допустимая влажность среды, окружающей клапан, % | До 80 | |
| 7 | Максимальный перепад давления на клапане, МПа | 0,1 | Перепад давления, при котором клапан сохраняет регулировочные свойства |

Паспорт разработан в соответствии с требованиями ГОСТ 2.601

В соответствии с **ГОСТ 30815-2002** максимальный перепад давления на термостатическом клапане определяется производителем из соблюдения требований бесшумности и сохранения регулировочных характеристик. Однако, изготовление клапана с широким диапазоном допустимых перепадов давления сопряжено с определенными конструктивными трудностями. Особые требования так же предъявляются к точности изготовления деталей клапана.

Большинство производителей выпускают клапаны с максимальным перепадом давления 20 кПа.

Исключение составляют клапаны фирмы VALTEC VT.31 и VT.32 с максимальным перепадом давления 100 кПа (**рис.8**), и клапаны фирмы Giacomini серии R401 – R403 с максимальным перепадом давления 140 кПа (**рис.9**).

рис.9 Фрагмент технического описания термостатического клапана Giacomini серии R403

| РАЗМЕР | ТЕРМОРЕГУЛЯТОР | НОМИНАЛЬНЫЙ РАСХОД Q _{мин} С ТЕРМОРЕГУЛЯТОРОМ* | АВТОРИТЕТ ЗАТВОРА | Z (мин) | W(K) |
|--------------|----------------|---|-------------------|---------|------|
| 1/2" (R401H) | R470H/R460H | 170 Кг/ч | 0,932 | 26 | 1,42 |
| 1/2" (R402H) | R470H/R460H | 170 Кг/ч | 0,809 | | |
| 1/2" (R403H) | R470H/R460H | 170 Кг/ч | 0,880 | | |
| 3/4" (R401H) | R470H/R460H | 250 Кг/ч | 0,972 | | |
| 3/4" (R402H) | R470H/R460H | 250 Кг/ч | 0,950 | | |

Значение гистерезиса : 0,4К
D – влияние дифференциального давления: 0,85К
Z – время срабатывания: см. таблицу
W – влияние температуры воды: см. таблицу
Минимальная настройка в сочетании с терморегулятором R470H, R460H: 8°С в положении*

Максимальное рабочее давление в сочетании с терморегулятором: 10 бар
Максимальное давление дифференциальное:
0,14 МПа (1,4 бар), 3/8" - 1/2"
0,07 МПа (0,7 бар), 3/4"

рис.10 Фрагмент технического описания термостатического клапана

| Тип и исполнение | Присоединение по ISO 7-1 | | Пропускная способность $K_v^{1)}$, м ³ /ч, при значении предварительной настройки | | | | | | | | Макс. давление, бар | | Перепад давлений ²⁾ , бар | Макс. темпер. теплоносителя, °С | Кодовый номер | |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|---|------|------|------|------|------|------|----------------------|---------------------|---------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------|--|
| | | | с термозлементом | | | | | | | без т/э (K_{v2}) | рабочее | испытательное | | | | |
| | к трубопроводу | к радиатору | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | N | | | N | | | |
| угловой вертикальный | Прессовое | Наружная резьба R 1/2 | При $X_p = 1$ °С | | | | | | | | 0,90 | 10 | 16 | 0,6 | 90 | |
| прямой | | | 0,04 | 0,09 | 0,15 | 0,22 | 0,28 | 0,33 | 0,36 | 0,43 | | | | | | |
| угловой горизонтальный | | | При $X_p = 2$ °С | | | | | | | | 0,90 | | | | | |
| | | | 0,04 | 0,09 | 0,16 | 0,25 | 0,36 | 0,43 | 0,52 | 0,73 | | | | | | |

¹⁾ Значения K_v соответствуют расходу теплоносителя G в м³/ч при перепаде давлений на клапане $\Delta P = 1$ бар: $K_v = G/\sqrt{\Delta P}$.
 K_{v2} соответствует максимальному расходу теплоносителя через полностью открытый клапан без термозлемента (положение настройки «N»).
 Предварительная настройка (положение настройки «N» осуществляется в соответствии со стандартом EN215 при $X_p = 2$ °С. Это означает, что клапан закрывается при температуре в помещении, превышающей на 2 °С температуру настройки термозлемента. При низких значениях предварительных настроек X_p снижается до 0,5 °С.
²⁾ Для обеспечения бесшумной работы максимальный перепад давлений на клапане должен находиться в диапазоне от 0,05 до 0,2 бар. В случае превышения максимального перепада давлений возможно некорректное регулирование температуры. При необходимости перепад давлений может быть снижен применением регуляторов перепада давлений Danfoss.

рис.11 Золотник термостатического клапана с осевым креплением уплотнителя.



При изучении технической документации необходимо быть внимательным, так как некоторые производители переняли практику банкиров - вставлять мелкий текст в примечаниях.

рис.12 Вид золотникового узла клапана VT.031



На (рис. 10) представлен фрагмент из технического описания одного из типов термостатических клапанов. В основной графе указано значение максимального перепада давления 0,6 бар (60 кПа). Однако, в сноске есть примечание, что действительный диапазон работы клапана ограничен всего лишь 0,2 барами (20 кПа).

Ограничение вызвано шумом, возникающим в клапане при высоких перепадах давления. Как правило, это касается клапанов с устаревшей конструкцией золотника, в котором уплотнительная резинка просто крепится по центру заклепкой или болтом (рис. 11).

При больших перепадах давления уплотнитель такого клапана начинает вибрировать из-за неполного прилегания к золотниковой тарелке, вызывая акустические волны (шум).

Повышенный допустимый перепад давления в клапанах VALTEC и Giacomini достигнут за счёт принципиально иной конструкции золотниковых узлов. В частности, у клапанов VT.031 использован латунный золотниковый плунжер, «футерованный» эластомером EPDM (рис. 12).

Сейчас разработка термостатических клапанов с широким диапазоном рабочих перепадов давления является одной из приоритетных задач специалистов многих компаний.

Исходя из изложенного, можно дать следующие рекомендации по проектированию систем отопления с термостатическими клапанами:

1. Коэффициент пропускной способности термостатического клапана рекомендуется определять, исходя из допустимого диапазона температур обслуживаемого помещения. Например, для жилых комнат по **ГОСТ 30494-2011** оптимальные параметры внутреннего воздуха находятся в диапазоне $20 \div 22^\circ\text{C}$. Значение K_v в этом случае принимается при $X_p=S-2$.

В помещениях категории 3а (помещения с мас-

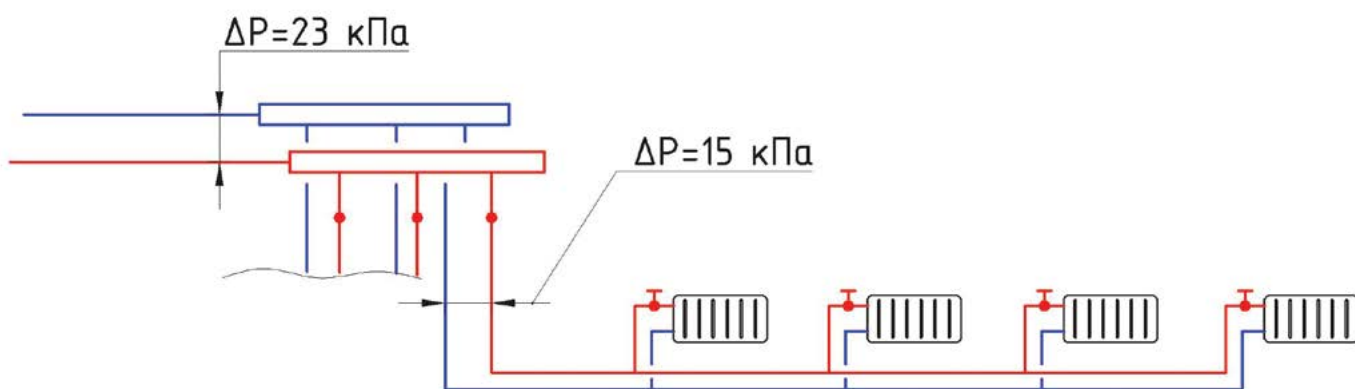
совым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды) оптимальный диапазон температур $20 \div 21^\circ\text{C}$. Для этих помещений значение K_v рекомендуется принимать при $X_p=S-1$.

2. На циркуляционных кольцах системы отопления должны быть установлены устройства (перепускные клапаны либо регуляторы перепада давления), ограничивающие максимальный перепад давления таким образом, чтобы перепад давления на клапане не превысил предельного паспортного значения.

Приведем несколько примеров подбора и установки устройств, для ограничения перепада давления на участке с термостатическими клапанами.

ПРИМЕР 1 (рис. 13).

рис.13 Схема к примеру 1

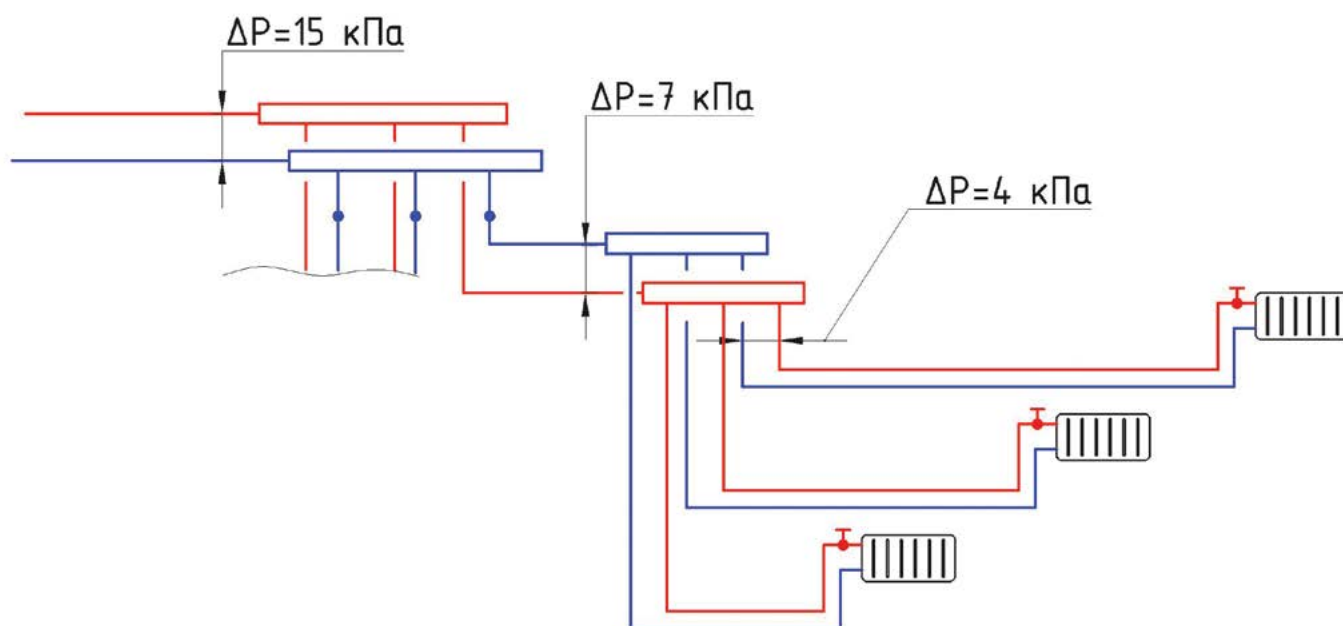


Расчётные потери давления в квартирной системе отопления (рис. 13), включая термостатические клапаны, составляют 15 кПа. Максимальный перепад давления на термостатических клапанах равен 20 кПа (0,2 Бар). Потери давления на коллекторе, включая потери на теплосчётчиках, балансировочных клапанах и прочей арматуре примем 8 кПа. В итоге, перепад давления до коллектора составляет 23 кПа.

Если установить регулятор перепада давления или

перепускной клапан до коллектора, то в случае перекрытия всех термостатических клапанов в данной ветке, перепад на них составит 23 кПа, что превышает паспортное значение (20 кПа). Таким образом, в данной системе регулятор перепада давления или перепускной клапан должен устанавливаться на каждом выходе после коллектора, и должен быть настроен на перепад 15 кПа.

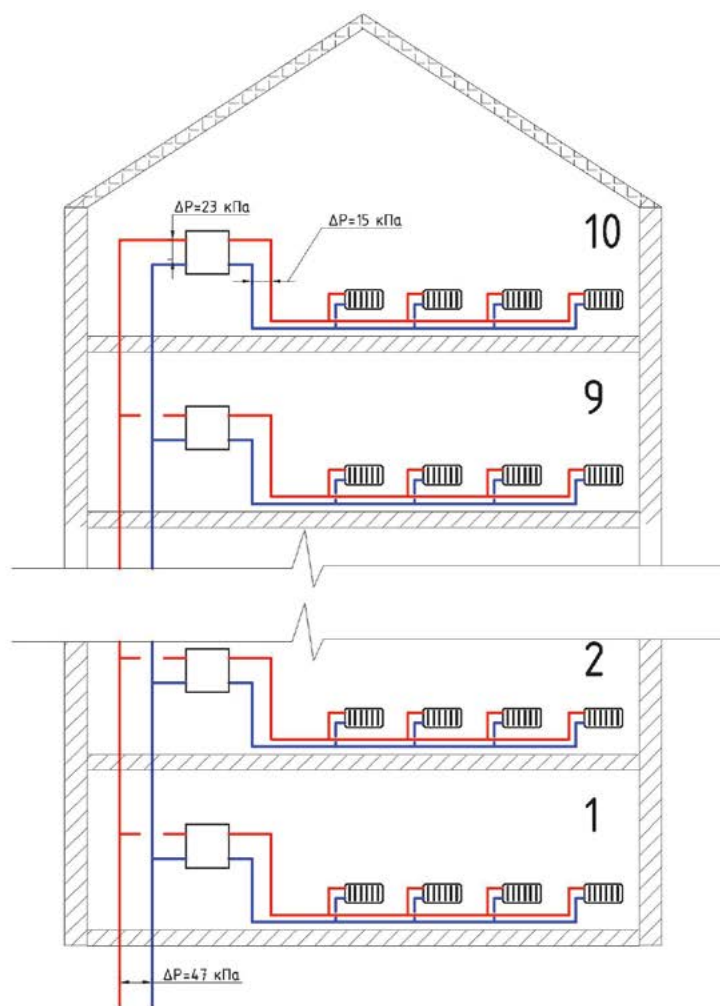
рис.14 Схема к примеру 2



Если принять не тупиковую, а лучевую систему поквартирного отопления (**Рис. 14**), то потери давления в ней будут значительно ниже. В приведенном примере коллекторно-лучевой системы потери в каждой радиаторной петле составляют 4 кПа. Потери давления на квартирном коллекторе примем 3 кПа, а потери давления на этажном коллекторе - 8 кПа.

В этом случае регулятор перепада давления можно расположить перед этажным коллектором и настроить его на перепад 15 кПа. Такая схема позволяет сократить количество регуляторов перепада давления и существенно удешевить систему.

рис. 15 Схема к примеру 3



В данном варианте используются радиаторные термостатические клапаны с максимальным перепадом давления 100 кПа (**Рис. 15**). Так же как и в первом примере, примем, что потери давления в квартирной системе отопления составляют 15 кПа. Потери давления на квартирном узле ввода (квартирной станции) 7 кПа. Перед квартирной станцией перепад давления составит 23 кПа. В десятиэтажном здании общую длину пары стояков системы отопления можно принять порядка 80 м (сумма подающего и обратного трубопроводов).

При средних линейных потерях давления по стояку 300 Па/м, общие потери давления в стояках составят 24 кПа. Отсюда следует, что перепад давления у основания стояков составит 47 кПа, что меньше максимально допустимого перепада давления на клапане.

Если установить регулятор на перепад давления на стояк и настроить его на давление 47 кПа, то даже, когда все радиаторные клапаны, подключенные к этому стояку, закроются, перепад давления на них будет ниже 100 кПа.

Таким образом, можно существенно снизить стоимость системы отопления, установив вместо 10 регуляторов перепада давления на каждом этаже, один регулятор у основания стояков.

Жигалов Д.В.