

Какую пропускную характеристику клапана выбрать?

А. Б. Сухоцкий, к.т.н., научный сотрудник ГК «Теплосила»

Определяющими параметрами при подборе регулирующего клапана для систем теплоснабжения являются диаметр условного прохода и максимальная пропускная способность. Однако часто производителем еще указывается тип пропускной (расходной) характеристики. Как она влияет? Попробуем разобраться.

Регулирующие клапаны в системах теплоснабжения (отопления, горячего водоснабжения, вентиляции) устанавливаются для обеспечения путем регулирования расхода необходимой температуры теплоносителя. Рассмотрим принцип их работы на примере системы отопления, схема которой может быть двух типов – зависимая и независимая (рис. 1). В обеих системах задача регулирующего клапана 1 заключается в изменении расхода сетевой воды G_1 путем изменения положения затвора клапана таким образом чтобы обеспечить заданную температуру t теплоносителя системы отопления с расходом теплоносителя G . В зависимой системе необходимая температура обеспечивается путем подмешивания в сетевой теплоноситель теплоносителя из обратного трубопровода, а в независимой системе – подогревом теплоносителя отопления сетевым теплоносителем в теплообменнике 3.

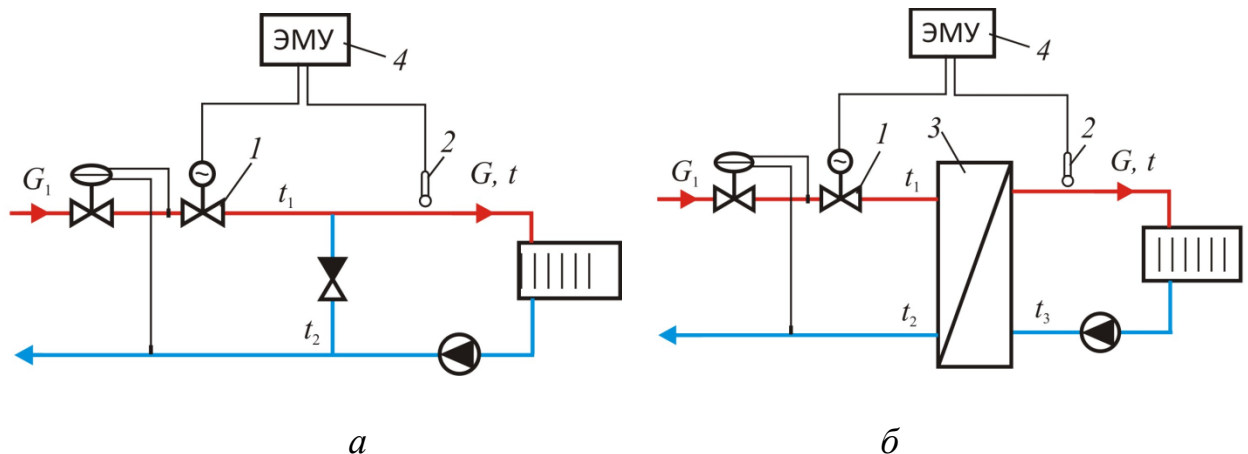


Рис. 1. Принципиальные схемы зависимой *а* и независимой *б* систем отопления: 1 – датчик температуры, 2 – регулирующий клапан, 3 – теплообменник, 4 – электронный модуль управления

Регулирующие клапаны, как правило, непрямого действия управляются электроприводом с помощью электронного модуля управления (ЭМУ) 4 по сигналу датчика температуры 2. Для обеспечения качественного регулирования процесса в тепловом пункте желательно обеспечить прямопропорциональную (линейную) зависимость между высотой h

открытия затвора клапана и температурой t теплоносителя на входе в систему отопления.

Пропускная характеристика клапана – зависимость относительного расхода $\varepsilon_G = G_1 / G_{1\max}$ от относительного подъема затвора клапана $\varepsilon_h = h / h_{\max}$, где $G_{1\max}$ – максимальный расход теплоносителя через клапан для установленного перепада давления на нем при полностью открытом затворе h_{\max} .

Типы идеальных пропускных характеристик клапанов представлены на рис. 2.

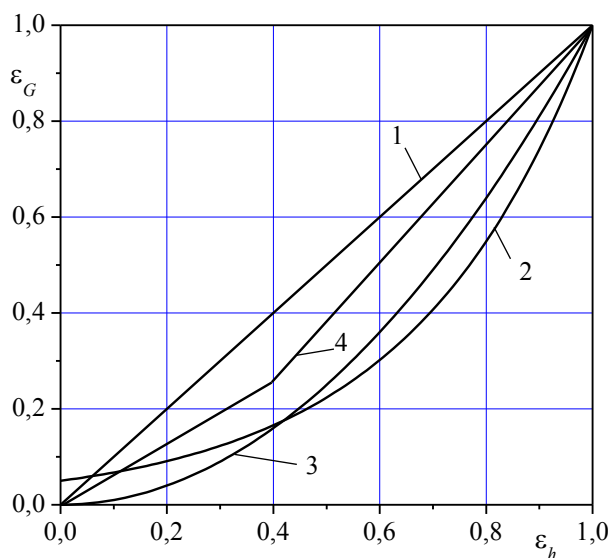


Рис.2. Типы идеальных пропускных характеристик: 1 – линейная $\varepsilon_G = \varepsilon_h$, 2 – логарифмическая $\varepsilon_G = \varepsilon_{G_0}^{(1-\varepsilon_h)}$, 3 – параболическая $\varepsilon_G = \varepsilon_h^2$, 4 – линейно-линейная.

Вид пропускной характеристики определяется прежде всего формой затвора клапана, которая может быть сплошной с внешним искривлением или полый с отверстиями на поверхности. В инженерных системах зданий наибольшее распространение получили клапаны с линейной и логарифмической (равнопроцентной) характеристикой. Шире начинают применять клапаны с совмещением этих характеристик. При этом в системах теплоснабжения нередко устанавливают клапаны без учета их пропускных характеристик.

Проведем анализ, как вид пропускной характеристики влияет на процесс регулирования температуры теплоносителя.

Для зависимой системы теплоснабжения (рис. 1, а) взаимосвязь между температурами и расходом определяется из условия равенства тепловых балансов

$$G_1 \cdot c \cdot t_1 + (G - G_1) \cdot c \cdot t_2 = G \cdot c \cdot t, \quad (1)$$

где c – теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг °С).

Таким образом между температурой теплоносителя t , подаваемого в систему отопления, и расходом сетевой воды G_1 имеется линейная связь (рис. 3, а):

$$t = (G_1 t_1 + (G - G_1) t_2) / G. \quad (2)$$

Следовательно для обеспечения качественного регулирования процесса в тепловом пункте расход теплоносителя, проходящий через регулирующий клапан, должен изменяться линейно при изменении открытия затвора, а клапан должен иметь линейную пропускную характеристику (рис. 3, б). Итоговый график идеального регулирования смесеобразования теплоносителя представлен на рис. 3, в, на котором показана зависимость отношения текущего значения температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления, к максимальному t/t_{\max} от степени открытия регулирующего клапана ε_h .

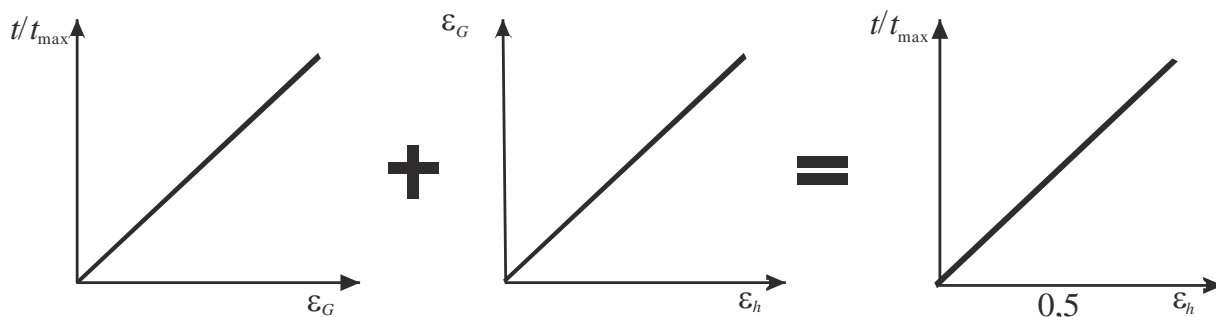


Рис. 3. Регулирование температуры теплоносителя: а – характеристика системы отопления; б – пропускная характеристика регулирующего клапана; в – характеристика регулирования температуры

Для независимой системы теплоснабжения (рис. 1, б) взаимосвязь между температурами и расходом определяется из уравнения теплопередачи теплообменника

$$Q = k \Delta \bar{t}_a F, \quad (3)$$

где Q – теплопроизводительность теплообменника, кВт; k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); $\Delta \bar{t}_a$ – среднелогарифмический по поверхности теплообменника температурный напор, К; F – площадь поверхности теплообмена, м².

Для определения необходимых соотношений расходов теплоносителей в каналах обеспечивающих требуемые температуры на выходе из теплообменника используют уравнение теплового баланса

$$Q = G_1 c (t_1 - t_2) = G c (t - t_3), \quad (4)$$

где t_2 – температура теплоносителя подаваемого в тепловую сеть, °С; t_3 – температура теплоносителя отбираемого из системы отопления, °С.

Среднелогарифмический по поверхности теплообменника температурный напор

$$\Delta \bar{t}_a = \frac{(t_1 - t) - (t_2 - t_3)}{\ln \frac{t_1 - t}{t_2 - t_3}}. \quad (5)$$

При $(t_1 - t) = (t_2 - t_3)$

$$\Delta \bar{t}_a = t_1 - t. \quad (5')$$

После преобразования уравнений (3), (4) и (5) получим выражение, определяющая связь между расходом теплоносителя из тепловой сети G_1 и температурой t теплоносителя подаваемого в систему теплоснабжения

$$t = t_3 + (t_1 - t_2) \frac{G_1(A-1)}{A \cdot G - G_1}, \quad (6)$$

где $A = \exp \left(k \cdot F \left(\frac{1}{c_1 \cdot G_1} - \frac{1}{c \cdot G} \right) \right)$.

Тогда относительна характеристика системы отопления

$$\frac{\Delta t}{\Delta t^{\max}} = \frac{(t - t_3)}{(t_1 - t_3)^{\max}} = \frac{G_1(A-1)}{G_1^{\max}(A^{\max}-1)} \cdot \frac{A^{\max} \cdot G - G_1^{\max}}{A \cdot G - G_1}. \quad (7)$$

Результаты расчетов пластинчатого теплообменника ET-012-58/58 (площадь теплообменной поверхности 14,31 м², тепловая мощность 0,5 Гкал/ч) в виде зависимостей относительного повышения температуры теплоносителя системы теплоснабжения от относительного расхода теплоносителя, подаваемого из тепловой сети представлены на рис. 4.

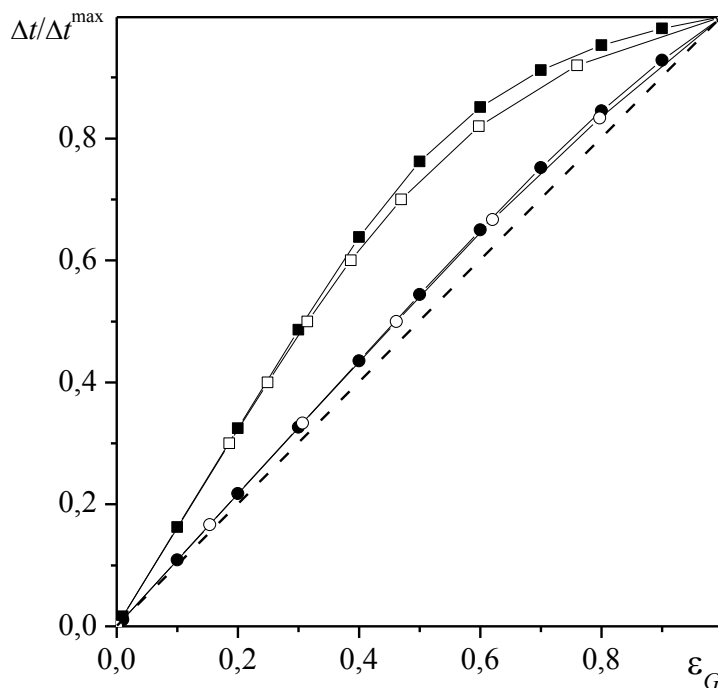


Рис. 4. Температурная характеристика пластинчатого теплообменника ET-012-58/58

Расчеты сделаны для двух тепловых режимов с номинальными параметрами: температуры теплоносителей 60/30 и 5/55°C, расходы теплоносителей 4,15 и 2,793 кг/с (значки в виде квадратиков); температуры теплоносителей 110/70 и 65/95°C, расходы теплоносителей 3,459 и 4,742 кг/с (значки в виде кружочков). Как видно, характеристики системы отопления имеют нелинейный вид обусловленный наличием экспоненциальной составляющей A в зависимости (7).

Расчеты данных режимов были произведены с помощью программы ГК «Теплосила» (темные значки) и по формуле (7) (светлые значки). Как видно, результаты расчетов по программе и формуле (7) имеют качественное совпадение, что говорит о достоверности формулы и возможности ее использования для анализа качественного регулирования теплоснабжения по независимой схеме.

На рис. 5, *а* представлено влияние площади теплообменной поверхности, а на рис. 5, *б* – отношение расходов теплоносителей G_1/G на характеристику теплообменника. Как видно, чем больше площадь теплообменника (точнее запас его теплообменной поверхности) и расход теплоносителя G системы отопления по отношению к расходу G_1 тепловой сети, тем более характеристика системы отопления стремиться к линейной.

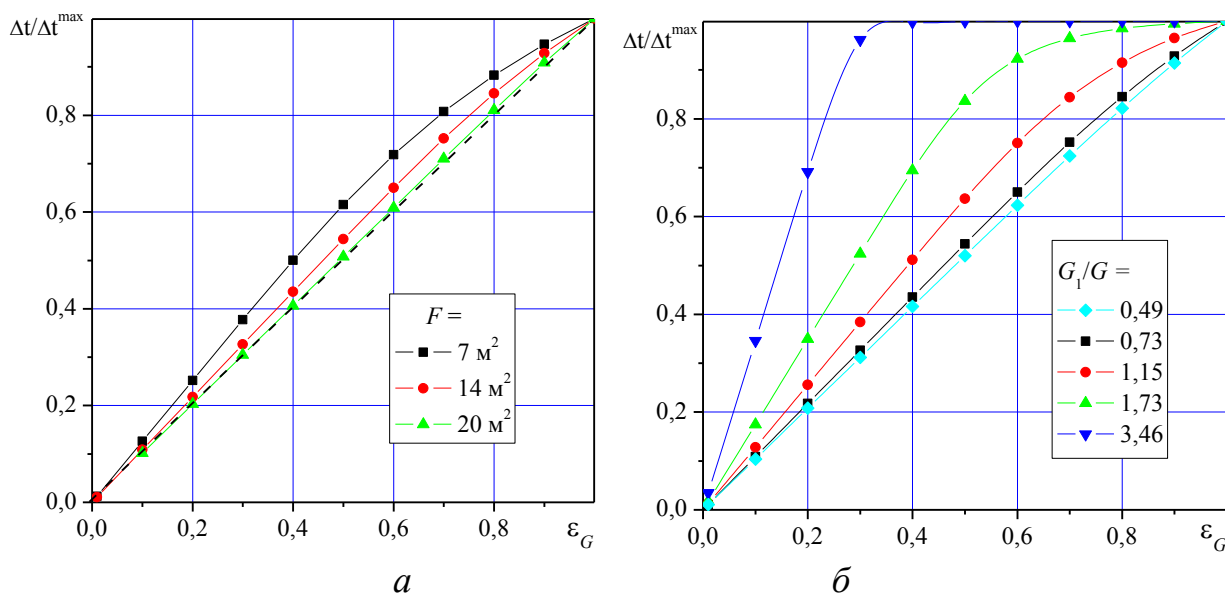


Рис. 5. Температурные характеристики теплообменника для различных площадей теплообмена *а* и соотношений расходов *б*

Если предположить, что для теплообменников в тепловых пунктах с независимой системной отопления характерен запас поверхности 10–20%, а расходы теплоносителей примерно равны $G_1^{\text{НОМ}} \approx G_2$, то среднестатистическая характеристики теплообменника системы отопления

будет иметь вид, представленный на рис. 6. Исходя из этой характеристики и следует разрабатывать характеристику клапана.

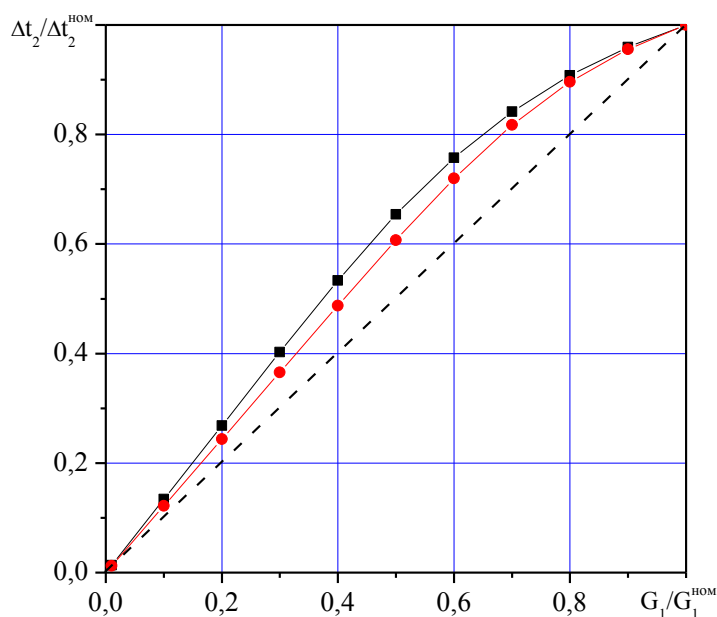


Рис. 6. Среднестатистическая характеристик теплообменника системы отопления

Для независимой системы отопления стабильное управление получают при линейной зависимости температуры теплоносителя t от хода затвора регулирующего клапана (рис. 7, в). С этой целью рассматривают идеальную совместную работу теплообменника и регулирующего клапана, при которой расходная характеристика клапана (рис. 7, б) должна быть зеркальным отображением характеристики теплообменника (рис. 7, а).

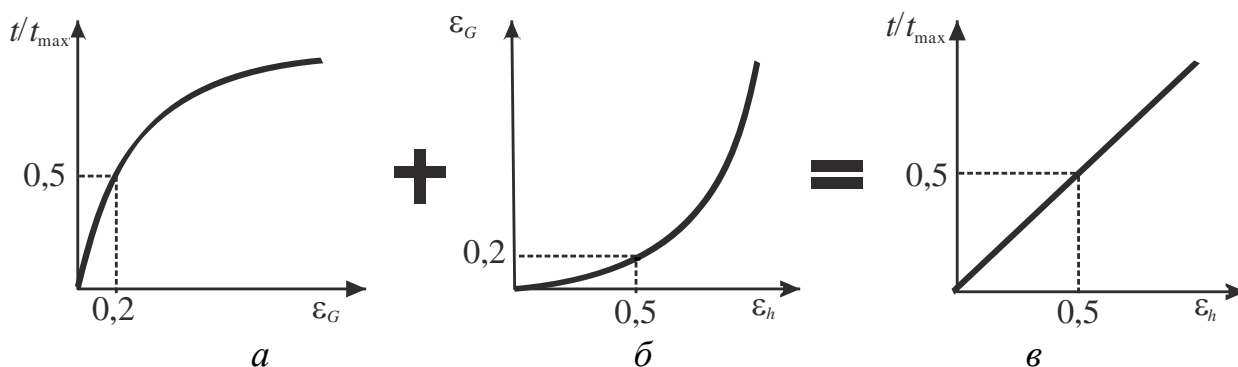


Рис. 7. Регулирование температуры теплоносителя: а – характеристика теплообменника (системы отопления); б – пропускная характеристика регулирующего клапана; в – характеристика регулирования температуры

Рассмотренное управление независимой системой отопления является идеализированным, к которому следует стремиться. Особенно важно это при использовании регулирующих клапанов (регуляторов температуры) прямого

действия, поскольку между датчиком температуры и положением затвора клапана установлена жесткая связь. Менее важным это является для регулирующих клапанов непрямого действия, поскольку правильно настроенный электронный модуль управления (ПИД регулятор) используя пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования компенсирует нелинейность характеристики системы отопления. В обоих вариантах улучшается реакция регулирующего клапана на изменение температуры, что повышает в итоге тепловой комфорт в помещении и экономит энергоресурсы.

Заключение. В большинстве систем теплоснабжения температура теплоносителя регулируется либо путем смешения сред, либо с помощью теплообменника. Поэтому рассмотренные закономерности регулирования относятся к системам отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и различным технологическим системам теплоснабжения.

При регулировании температуры путем смешения сред рекомендуется применять регулирующий клапан с линейной пропускной характеристикой, а с помощью теплообменника – логарифмической. Однако логарифмическая характеристика $\varepsilon_G = \varepsilon_{G_0}^{(1-\varepsilon_n)}$, в отличие от линейной, не идентична (меняется в зависимости от ε_{G_0}) и нелинейности характеристик теплообменников различны. Поэтому, чтобы добиться идеальной совместной работы теплообменника и регулирующего клапана нужно для каждого процесса разрабатывать свою нелинейную пропускную характеристику клапана, что практически невозможно. Поэтому если в системе теплоснабжения с теплообменником используется регулирующий клапан непрямого действия с качественным ПИД регулятором, то в большинстве случаев удовлетворительное регулирование температуры теплоносителя может обеспечить и линейная пропускная характеристика.