

Результаты исследования схем регулирования отопительной нагрузки с элеваторным присоединением

М.К. Каленская, инженер,

к.т.н. Н.В. Зорченко, заведующая сектором, ОАО «Всероссийский теплотехнический институт» (ВТИ)

(Печатается с сокращениями. Полную версию статьи см. на сайте РосТепло.ру – www.rosteplo.ru)

В настоящее время свыше 65% нагрузки отопления присоединяется к тепловым сетям по зависимой (элеваторной) схеме. Перерасход тепловой энергии в данном случае при положительных температурах наружного воздуха может составлять 9-15% годового отпуса тепла на отопление.

В [1, 2] была предложена схема регулирования отопительной нагрузки с элеваторным присоединением, включающая два независимых регулятора. Она позволяет поддерживать требуемую температуру на входе к потребителям в зависимости от температуры наружного воздуха и постоянный расход в местной системе отопления. Возможна реализация двух вариантов схемы. Для выбора оптимального варианта была разработана динамическая модель системы отопления и проведены исследования схем регулирования отопительной нагрузки с элеваторным присоединением.

На рис. 1, 2 представлены схемы элеваторных узлов с регулятором температуры (РТ) на линии смешения (рис. 1) и за элеватором (рис. 2). Регу-

лятор расхода (РР) в обоих случаях расположен на входе в систему и поддерживает заданный (расчетный) расход в местной системе отопления $(G_{потр})^{зд}$. Регулятор температуры поддерживает требуемое (заданное) по температурному графику значение температуры смешанной воды за элеватором $(t_{потр}^{вх})^{зд}$.

Изменение температуры смешанной воды за элеватором при заданных температурах в подающей и обратной линиях тепловой сети может быть осуществлено только изменением коэффициента смешения элеватора. При постоянных гидравлических сопротивлениях сопла элеватора и местной системы отопления изменить коэффициент смешения можно, изменяя сопротивление клапана регулятора температуры. С уменьшением его гидравлического сопротивления коэффициент смешения возрастает, поэтому по мере роста температуры наружного воздуха $t_{нв}$ регулятор температуры открывается, а регулятор расхода прикрывается для поддержания постоянства расхода смешанной воды.

Входным сигналом РР является небаланс между заданным и фактическим расходом воды к потребителям $((G_{потр})^{зд} - G_{потр})$. Регулятор преобразует его по ПИ-закону и воздействует на клапан, регулирующий расход рабочей среды $G_{вх}$ в систему отопления.

Входным сигналом РТ является небаланс между заданной и фактической температурой воды, поступающей к потребителям $((t_{потр}^{вх})^{зд} - t_{потр}^{вх})$. Регулятор преобразует входной сигнал по ПИ-закону и воздействует на клапан, который, в зависимости от своего расположения, изменяет расход на входе к потребителям $G_{потр}$ или расход рабочей среды, подмешиваемой в элеватор $G_{см}$.

С помощью преобразования Лапласа [3] из уравнений теплового и материального балансов и соотношения для коэффициента смешения элеватора были получены передаточные функции (см. полную версию статьи – прим. ред.). За нулевые начальные условия был принят расчетный режим работы элеватора ($Q_0^p = 581,4$ кДж/с – расчетная нагрузка отопления при текущей температуре наружного воздуха $t_{нв} = -26$ °С).

При этом было принято:

- изменение $t_{потр}^{вх}$ при изменении $t_{потр}^{вх}$ происходит с интегральной постоянной времени 60 с;
- изменение $t_{потр}^{вх}$ при изменении расхода $G_{потр}$ происходит практически мгновенно, т.е. интег-

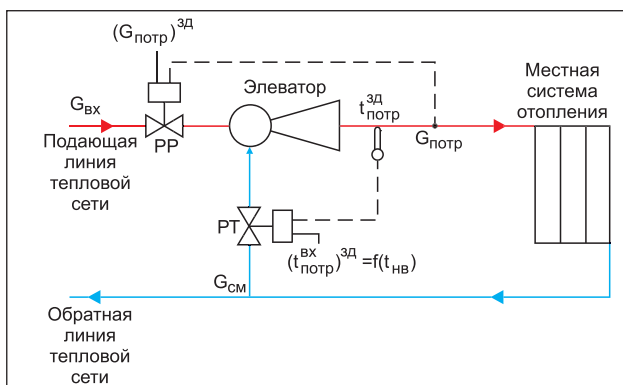


Рис. 1. Схема элеваторного узла с РТ на линии смешения.

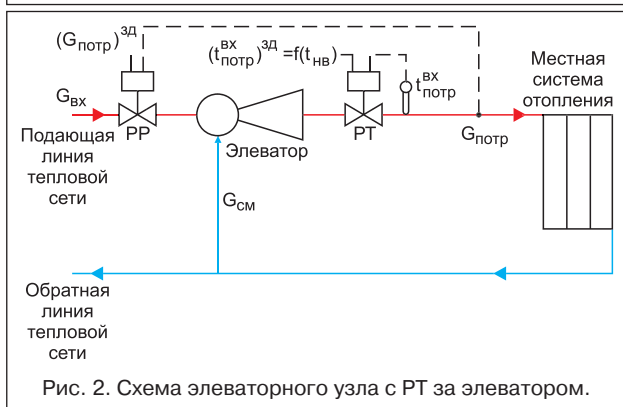


Рис. 2. Схема элеваторного узла с РТ за элеватором.

Таблица 1. Параметры настройки регуляторов для схем на рис. 1 и 2.

Система отопления	Регулятор температуры (РТ)		Регулятор расхода (РР)	
	k_p , (кг/с)/°С	T_u , с	k_p , (кг/с)/(кг/с)	T_u , с
РТ на линии смешения	-0,01	10	0,5	15
РТ за элеватором	0,009	8	0,6	15

ральная постоянная времени канала $G_{\text{потр}} \rightarrow t_{\text{потр}}^{\text{вх}}$ 0,01 с.

Для клапана РТ постоянная времени $T_{\text{клРТ}}$ была принята 10 с, для клапана РР постоянная времени $T_{\text{клРР}}=5$ с.

Недостаток схемы с РТ за элеватором состоит в том, что она представляет собой взаимосвязанную систему. Регуляторы влияют на переходные характеристики друг друга при их совместной работе. Например, когда РТ нужно увеличить температуру, он будет открывать связанный с ним клапан (после элеватора), тем самым, увеличивая расход воды к потребителям. Но РР будет закрывать свой клапан (перед элеватором), чтобы сохранить постоянным расход в системе отопления. Поэтому целесообразно в схему регулирования добавить компенсатор, сигнал от которого поступает на вход РТ. При правильной настройке компенсатор должен обеспечивать инвариантность РТ при работе РР (передаточная функция компенсатора для этой схемы приведена в полной версии статьи – прим. ред.).

В схеме на рис. 1 предусмотрена возможность учесть влияние температуры наружного воздуха $t_{\text{нв}}$ на температуру на входе к потребителям $t_{\text{потр}}^{\text{вх}}$.

В процессе исследования была разработана методика настройки автоматических регуляторов системы отопления и рассчитаны параметры настройки регуляторов: коэффициент усиления k_p и постоянная времени интегрирования T_u , представленные в табл. 1.

На рис. 3 показаны переходные процессы $t_{\text{потр}}^{\text{вх}}$ и $G_{\text{потр}}$ в системе отопления с регулятором температуры на линии смешения при изменении задания РТ $(t_{\text{потр}}^{\text{вх}})^{\text{зд}}$ на 10 °С и задания РР $(G_{\text{потр}})^{\text{зд}}$ на 0,5 кг/с.

На рис. 4 представлены переходные процессы $t_{\text{потр}}^{\text{вх}}$ и $G_{\text{потр}}$ в системе отопления с регулятором температуры за элеватором при изменении задания РТ $(t_{\text{потр}}^{\text{вх}})^{\text{зд}}$ на 10 °С и задания РР $(G_{\text{потр}})^{\text{зд}}$ на 0,5 кг/с.

Хорошо видно, что переходные процессы в системе отопления с РТ на линии смешения (рис. 3) более устойчивы, чем процессы в системе с РТ за элеватором (рис. 4): степень затухания колебаний Ψ как температуры $t_{\text{потр}}^{\text{вх}}$, так и расхода $G_{\text{потр}}$ в первом случае равна 1, во втором – $\Psi \approx 0,95$ при одинаковом времени достижения заданных значений. Кроме того, как отмечалось выше, схема с РТ за элеватором являет-

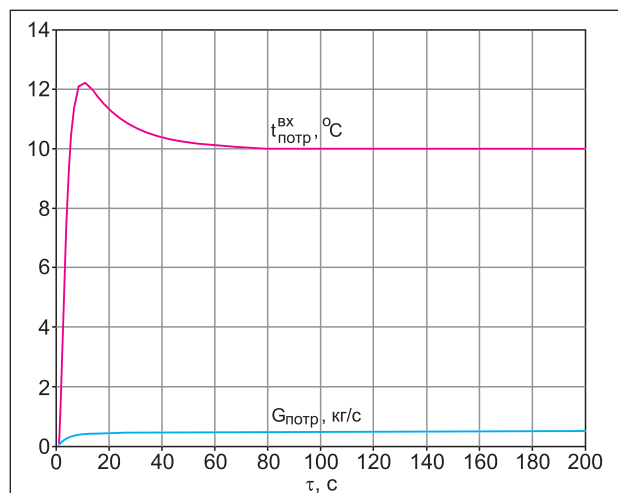


Рис. 3. Переходные процессы $t_{\text{потр}}^{\text{вх}}$ и $G_{\text{потр}}$ в системе отопления с РТ на линии смешения при изменении задания РТ $(t_{\text{потр}}^{\text{вх}})^{\text{зд}}$ на 10 °С и задания РР $(G_{\text{потр}})^{\text{зд}}$ на 0,5 кг/с.

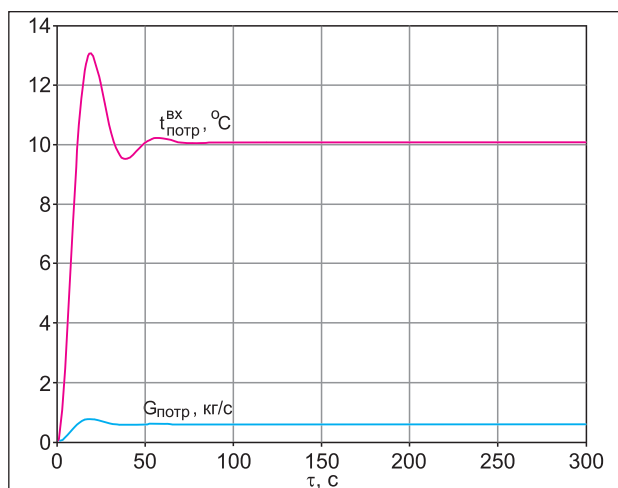


Рис. 4. Переходные процессы $t_{\text{потр}}^{\text{вх}}$ и $G_{\text{потр}}$ в системе отопления с РТ за элеватором при изменении задания РТ $(t_{\text{потр}}^{\text{вх}})^{\text{зд}}$ на 10 °С и задания РР $(G_{\text{потр}})^{\text{зд}}$ на 0,5 кг/с.

ся взаимосвязанной, что требует ввода дополнительного компенсирующего сигнала. Также в ходе модельных исследований было получено, что для нее необходима автоподстройка в зависимости от нагрузки.

Таким образом, схема с РТ на линии смешения позволяет обеспечить более качественное поддержание температуры и расхода и является наиболее удобной с точки зрения регулирования.

Дополнительно была рассмотрена схема регулирования, когда РТ находится на входе в систему отопления, а РР – за диффузором элевато-

Таблица 2. Параметры настройки регуляторов для схемы на рис. 5.

Система отопления с РТ на входе и РР за элеватором	Регулятор температуры (РТ)		Регулятор расхода (РР)	
	$K_p, (кг/с)/°C$	$T_u, с$	$K_p, (кг/с)/(кг/с)$	$T_u, с$
	0,2	20	1	40

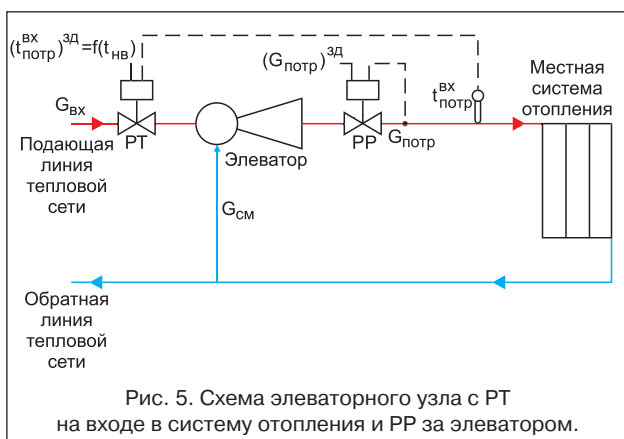


Рис. 5. Схема элеваторного узла с РТ на входе в систему отопления и РР за элеватором.

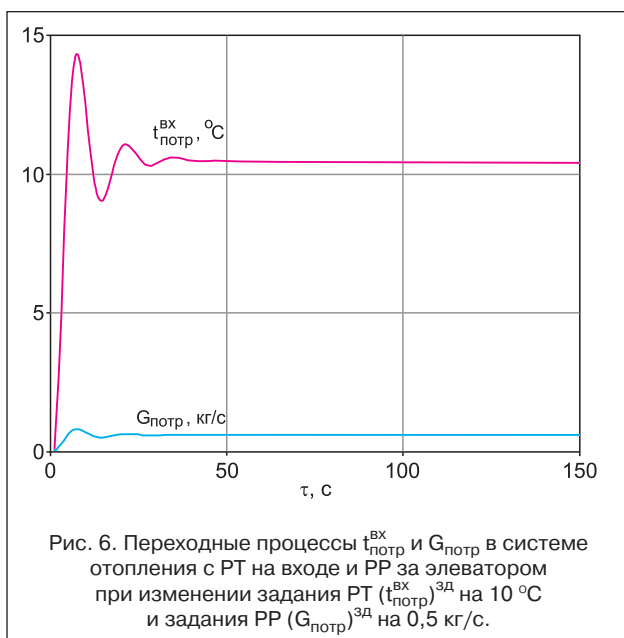


Рис. 6. Переходные процессы $t_{потр}^{вх}$ и $G_{потр}$ в системе отопления с РТ на входе и РР за элеватором при изменении задания РТ ($t_{потр}^{вх}$)^{зд} на 10 °C и задания РР ($G_{потр}$)^{зд} на 0,5 кг/с.

ра. Соответствующая схема элеваторного узла представлена на рис. 5.

Параметры настройки регуляторов, рассчитанные для данного варианта системы регулирования, представлены в табл. 2. Для обеспечения инвариантности регуляторов в схему был также введен компенсатор (передаточная функция компенсатора для данной схемы приведена в полной версии статьи – прим. ред.). Соответствующие переходные процессы $t_{потр}^{вх}$ и $G_{потр}$ при изменении задания РТ ($t_{потр}^{вх}$)^{зд} на 10 °C и задания РР ($G_{потр}$)^{зд} на 0,5 кг/с представлены на рис. 6.

Сравнивая рис. 4 и 6, можно отметить, что изменение мест положения регуляторов РТ и РР не улучшило качества переходных процессов: сохранилась колебательность процессов, увеличилось динамическое отклонение $t_{потр}^{вх}$ и $G_{потр}$. Также надо отметить, что, помимо ухудшения качества поддержания температуры и расхода в

системе, схема с РТ на входе и РР после элеватора (см. рис. 5) сохранила недостатки предыдущей схемы: также нуждается во вводе компенсирующего сигнала и требует автоподстройки при различных нагрузках.

Выводы

1. В статье рассмотрены два варианта схемы регулирования отопительной нагрузки с элеваторным присоединением и с двумя независимыми регуляторами давления и температуры.

Результаты проведенных модельных исследований показали, что схема отопления с регулятором температуры на перемычке обладает преимуществом по сравнению с вариантом схемы с регулятором температуры после элеватора. Система с регулятором температуры после элеватора не обеспечивает достаточного качества регулирования, требует введения дополнительного компенсирующего сигнала и автоподстройки в зависимости от нагрузки.

2. Дополнительно была рассмотрена схема, когда регулятор температуры находится на входе в систему отопления, а регулятор расхода – за диффузором элеватора. Данная схема также не позволяет обеспечить достаточное качество регулирования, нуждается во вводе компенсирующего сигнала и требует автоподстройки при различных нагрузках.

Литература

1. Байбаков С.А., Филатов К.В. О возможностях регулирования элеваторных узлов систем отопления // *Новости теплоснабжения*. 2010. № 7. С. 38-44.
2. Патент RU 88777, F 24 D 300, 2009.
3. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 400 с.