

УДК 697.34

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СХЕМ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**И. И. МАЦКО**

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь

### Введение

Двухступенчатый подогрев воды в тепловых пунктах зданий, присоединенных к системе централизованного теплоснабжения, решает две задачи:

– во-первых, снижается расход сетевой воды, что способствует увеличению пропускной способности трубопроводов тепловой сети и снижению потребляемой сетевыми насосами электрической мощности;

– во-вторых, снижается температура воды в обратном трубопроводе, что уменьшает потери тепла в наружных сетях, а при теплоснабжении от ТЭЦ способствует дополнительной выработке электрической энергии по теплофикационному циклу.

Рассмотрим схемы приготовления горячей воды по двухступенчатой и параллельной схемам (рис. 1).

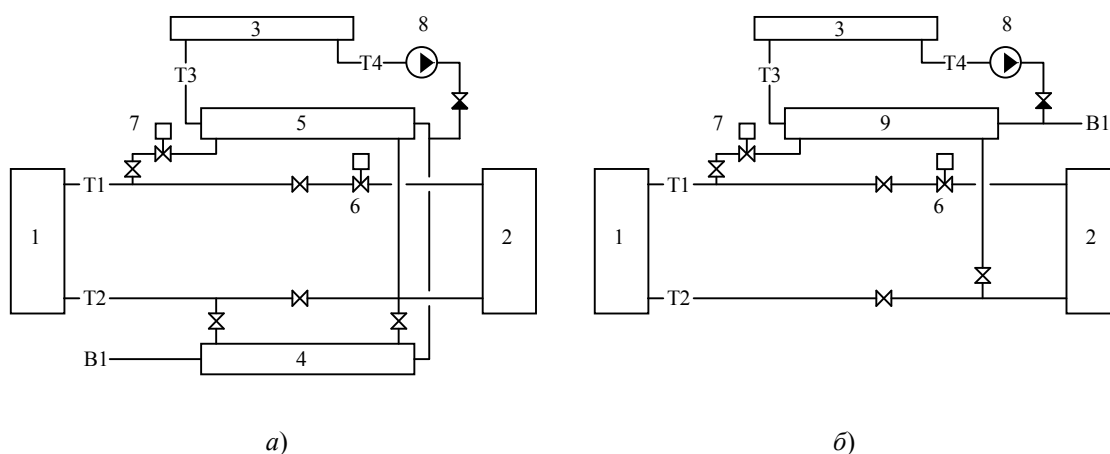


Рис. 1. Схемы подключения водоподогревателей блока горячего водоснабжения:  
*а* – по двухступенчатой схеме; *б* – по параллельной схеме; 1 – тепловая сеть; 2 – система отопления; 3 – система горячего водоснабжения; 4 – водоподогреватель первой ступени; 5 – водоподогреватель второй ступени; 6 – регулирующий клапан системы отопления; 7 – регулирующий клапан системы горячего водоснабжения; 8 – циркуляционный насос; 9 – одноступенчатый водоподогреватель

### Общие положения

Действующими нормами [1, п. 11.7] регламентируется применение двухступенчатого подогрева воды в тех случаях, когда отношение тепловых мощностей систем горячего водоснабжения и отопления находится в интервале значений 0,2–1,0. В этом случае водопроводная вода предварительно нагревается в теплообменнике 4 (рис. 1, *а*) водой из обратного трубопровода системы отопления. В остальных случа-

ях применяют одноступенчатый подогрев воды, и водоподогреватель 9 (рис. 1, б) присоединяется по греющей воде параллельно системе отопления.

Во всех случаях общий расход сетевой воды на отопление и горячее водоснабжение определяется формулой

$$G = G_{\text{от}} + G_{\text{ГВС}}, \text{ т/ч}, \quad (1)$$

где  $G_{\text{от}}$  – расход сетевой воды на отопление, который определяется по формуле

$$G_{\text{от}} = \frac{10^3 \cdot Q_{\text{от}}}{T_1 - T_2}, \text{ т/ч}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{от}}$  – тепловая мощность отопительной системы, Гкал/ч;  $T_1$  и  $T_2$  – расчетные температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, °С;  $G_{\text{ГВС}}$  – расход сетевой воды на горячее водоснабжение, который для двухступенчатой и параллельной схем определяется по разным формулам [1, п. 5.2].

Для одноступенчатого водоподогревателя при параллельной схеме:

$$G_{\text{ГВС.1}} = \frac{10^3 \cdot Q_{\text{ГВС}}}{t_1 - t_2}, \text{ т/ч}, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{ГВС}}$  – тепловая мощность системы горячего водоснабжения при максимальном часовом расходе горячей воды при ее подогреве в одноступенчатом водоподогревателе, Гкал/ч;  $t_1$  и  $t_2$  – расчетные температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети в точке нижнего излома отопительного графика, °С.

Для водоподогревателя второй ступени при двухступенчатой схеме:

$$G_{\text{ГВС.2}} = \frac{0,55 \cdot 10^3 \cdot Q_{\text{ГВС}}}{t_1 - t_2}, \text{ т/ч}. \quad (4)$$

Суммарные расходы сетевой воды на отопление и горячее водоснабжение в одноступенчатом  $G_1$  и двухступенчатом  $G_2$  подогревателях определяются выражениями:

$$G_1 = \frac{10^3 \cdot Q_{\text{от}}}{T_1 - T_2} \cdot \left[ 1 + \rho \cdot \frac{T_1 - T_2}{t_1 - t_2} \right], \text{ т/ч}; \quad (5)$$

$$G_2 = \frac{10^3 \cdot Q_{\text{от}}}{T_1 - T_2} \cdot \left[ 1 + 0,55 \cdot \rho \cdot \frac{T_1 - T_2}{t_1 - t_2} \right], \text{ т/ч}, \quad (6)$$

где  $\frac{Q_{\text{от}}}{Q_{\text{ГВС}}} = \rho$  – отношение тепловых мощностей систем горячего водоснабжения и отопления.

Таким образом, расход сетевой воды в двухступенчатом водоподогревателе меньше соответствующего расхода при одноступенчатом подогреве на величину

$$\Delta G = G_1 - G_2 = \frac{10^3 \cdot Q_{от}}{T_1 - T_2} \cdot \left[ 0,45 \cdot \rho \cdot \frac{T_1 - T_2}{t_1 - t_2} \right], \text{ т/ч,} \quad (7)$$

где  $0,5 \cdot \rho \cdot \frac{T_1 - T_2}{t_1 - t_2} = \lambda_1$  – коэффициент, отражающий увеличение расхода сетевой воды при использовании параллельной схемы вместо смешанной схемы в долях от расчетного расхода на отопление.

Как видно из формулы (7), превышение расхода зависит от соотношения тепловых мощностей систем горячего водоснабжения и отопления и температурного графика.

Значения температуры обратной сетевой воды при температурах нижнего излома 65 и 70 °С и графиках 150/70 и 130/70 °С приведены в табл. 1, согласно [2].

Таблица 1

**Значения температуры обратной сетевой воды при температурах нижнего излома 65 и 70 °С и графиках 150/70 и 130/70 °С**

Температурный график, °С	150/70		130/70	
Температура нижнего излома $t_1$ , °С	65	70	65	70
Температура обратной сетевой воды $t_2$ , °С	39,8	41,7	42,7	44,9

### Результаты расчетов

Определим относительное увеличение расхода сетевой воды (в долях от расчетного расхода сетевой воды на отопление  $\lambda_1$ ) при использовании параллельного включения водоподогревателя вместо двухступенчатого в диапазоне соотношения тепловых мощностей систем горячего водоснабжения и отопления от 0,2 до 1,0 при работе на графиках 150/70 и 130/70 °С и температурах нижнего излома 65 и 70 °С. Значения коэффициента  $\lambda_1$  приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Значения коэффициента  $\lambda_1$ .**

$\rho$	Температурный график, °С			
	150/70		130/70	
	$t_1 = 65$	$t_1 = 70$	$t_1 = 65$	$t_1 = 70$
0,2	0,286	0,254	0,242	0,215
0,3	0,429	0,382	0,363	0,323
0,4	0,571	0,509	0,484	0,430
0,5	0,714	0,636	0,605	0,538
0,6	0,857	0,763	0,726	0,645
0,7	1,000	0,890	0,848	0,753
0,8	1,143	1,018	0,969	0,861
0,9	1,286	1,145	1,090	0,968
1,0	1,429	1,272	1,211	1,076

Выполненный анализ показывает, что применение двухступенчатого подогрева в большинстве случаев совершенно оправдано, потому что при этом расходы сетевой воды снижаются существенно.

Вместе с тем опыт проектирования тепловых пунктов выявил ряд проблем, связанных с двухступенчатым подогревом [3], [4]. Например, при недостаточном расходе сетевой воды на вводе тепловой сети трудно организовать последовательное движение необходимого количества сетевой воды через узлы приготовления теплоносителя для систем отопления и горячего водоснабжения.

Нельзя не учитывать тот факт, что двухступенчатые подогреватели внедрялись, когда системы отопления на абонентских вводах практически нигде не регулировались. Теперь, когда погодное регулирование в тепловом пункте здания стало правилом, выяснилось, что эффективность работы первой ступени водоподогревателя заметно ухудшается в процессе регулирования, при котором расход греющей воды не постоянен по величине, и водоподогреватель второй ступени в этих условиях не всегда справляется с задачей поддержания температуры горячей воды на заданном уровне. При закрытии регулирующего клапана системы отопления расход греющей воды, подаваемой на водонагреватель первой ступени, уменьшится, ее тепловая мощность понизится, нагреваемая вода на выходе из первой ступени будет иметь недостаточную температуру. Во второй ступени нагреваемая вода тоже не сможет быть подогрета до проектного значения, потому что расход греющей воды, подаваемой на вторую ступень, ограничен дроссельной шайбой. Таким образом, тепловая мощность водоподогревателей горячего водоснабжения, рассчитанная по всем ныне действующим правилам, окажется недостаточной в часы максимального водоразбора.

Кроме того, при использовании двухступенчатых схем подключения использовалось специфическое теплообменное оборудование. Это были громоздкие многосекционные «скоростные» бойлеры, для размещения которых в тепловых пунктах требовались значительные площади. Для того чтобы хоть как-то сократить эти площади, приходилось рассчитывать теплообменные поверхности при рабочей разности температур, которая в несколько раз больше тех значений, при которых рассчитываются современные пластинчатые или интенсифицированные кожухотрубные теплообменные аппараты.

Теперь уже нет никакой необходимости рассчитывать одноступенчатый водоподогреватель в современном тепловом пункте при разности температуры греющей воды  $t_1 - t_2$  [формула (3)]. Если принять рабочую разность температур на холодном конце противоточного теплообменного аппарата равной 10 °С, то при расчетной температуре водопроводной воды 5 °С температура греющей воды после теплообменника  $t_2 = 15$  °С. Температура  $t_1$  греющей воды на входе в теплообменник соответствует температуре в подающем трубопроводе в точке излома температурного графика, т. е. 70 (65) °С. Таким образом, для современных тепловых пунктов при одноступенчатом подогреве горячей воды расчетная разность температур горячей воды  $\Delta t$  могла бы приниматься равной 55 (50) °С.

В этих условиях расход сетевой воды, используемой для приготовления горячей воды в одноступенчатом водоподогревателе, определяется по формуле

$$G_{\text{ГВС.З}} = \frac{10^3 \cdot Q_{\text{ГВС}}}{t_1 - 15}, \text{ т/ч}, \quad (8)$$

а общий расход сетевой воды определяется по формуле

$$G_3 = \frac{10^3 \cdot Q_{от}}{T_1 - T_2} \cdot \left[ 1 + \rho \cdot \frac{T_1 - T_2}{t_1 - 15} \right], \text{ т/ч.} \quad (9)$$

При этом изменение расхода сетевой воды при использовании энергоэффективного водоподогревателя, подключенного по параллельной схеме, определяется по формуле

$$\Delta G = G_3 - G_2 = \frac{10^3 \cdot Q_{от}}{T_1 - T_2} \cdot \left[ \rho \cdot \frac{T_1 - T_2}{t_1 - 15} - 0,55 \cdot \rho \cdot \frac{T_1 - T_2}{t_1 - t_2} \right], \text{ т/ч,} \quad (10)$$

где  $\rho \cdot \frac{T_1 - T_2}{t_1 - 15} - 0,55 \cdot \rho \cdot \frac{T_1 - T_2}{t_1 - t_2} = \lambda_2$  – коэффициент, отражающий изменение расхода сетевой воды при использовании параллельной схемы с энергоэффективным водоподогревателем вместо смешанной схемы в долях от расчетного расхода на отопление. Значения коэффициента  $\lambda_2$  приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения коэффициента  $\lambda_2$

ρ	Температурный график, °С			
	150/70		130/70	
	$t_1 = 65$	$t_1 = 70$	$t_1 = 65$	$t_1 = 70$
0,2	-0,029	-0,020	-0,056	-0,045
0,3	-0,044	-0,030	-0,084	-0,067
0,4	-0,058	-0,040	-0,112	-0,090
0,5	-0,073	-0,050	-0,140	-0,112
0,6	-0,088	-0,060	-0,168	-0,134
0,7	-0,102	-0,070	-0,196	-0,157
0,8	-0,117	-0,080	-0,224	-0,179
0,9	-0,131	-0,090	-0,252	-0,201
1,0	-0,146	-0,100	-0,280	-0,224

Согласно данным табл. 3, при одноступенчатом подогреве в современных противоточных теплообменных аппаратах, рассчитанных с рабочей разностью температуры на холодном конце 10 °С, по сравнению с двухступенчатым подогревом имеется незначительное сокращение расхода сетевой воды. Некоторое увеличение теплообменной поверхности водонагревателей практически не повлияет на их габаритные размеры, а связанные с этим возможные дополнительные единовременные затраты будут компенсироваться упрощением монтажа и теми удобствами эксплуатации, которыми обычно отличаются параллельно включенные по греющему теплоносителю потребители тепла.

**Заключение**

В тепловых пунктах зданий с водоподогревателями горячего водоснабжения при использовании современных противоточных теплообменных аппаратов, рассчитанных с рабочей разностью температур на холодном конце 10 °С, целесообразно при-

менение одноступенчатых теплообменных аппаратов, присоединенных к тепловой сети параллельно системам отопления, что позволяет функционировать блоку горячего водоснабжения при наличии автоматики погодного регулирования. При этом расходы сетевой воды не превысят значений, характерных для двухступенчатых водоподогревателей, работа которых при наличии автоматики погодного регулирования не обеспечивает требуемой температуры горячей воды.

Рекомендуется исключить из СНиП 2.04.07–86\* «Тепловые сети» требование, регламентирующее подключение водоподогревателей горячего водоснабжения по смешанной схеме при соотношении тепловых мощностей систем горячего водоснабжения и отопления от 0,2 до 1,0 (второй абзац п. 11.7) для тепловых пунктов, оснащенных автоматикой погодного регулирования систем отопления.

### Литература

1. Тепловые сети : СНиП 2.04.07–86. – Введ. 30.12.86. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1987.
2. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – 7-е изд., стер. – Москва : МЭИ, 2001.
3. Гершкович, В. Ф. О расчете двухступенчатых подогревателей горячего водоснабжения для современных тепловых пунктов / В. Ф. Гершкович // Энергосбережение в зданиях. – 2005. – № 25.
4. Гершкович, В. Ф. Новый взгляд на двухступенчатый подогрев воды в водоподогреванием горячего водоснабжения / В. Ф. Гершкович // Энергосбережение в зданиях. – 2007. – № 32.

*Получено 17.03.2008 г.*