

ЛЕКЦИЯ №6

3. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

3.1. Методика определения расчетной тепловой производительности водоподогревателей отопления и горячего водоснабжения

Расчетная тепловая производительность водоподогревателей $Q^п$ принимается по расчетным проектным тепловым потокам на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

При отсутствии проектной документации допускается определять расчетные тепловые потоки в соответствии с указаниями СНиП 2.04.07-86* (по укрупненным показателям).

Расчетная тепловая производительность водоподогревателей для систем отопления $Q_o^п$ определяется при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления t_o^p , °С.

При независимом присоединении систем отопления и вентиляции через общий водоподогреватель расчетная тепловая производительность водоподогревателя определяется по сумме максимальных тепловых потоков на отопление и вентиляцию:

$$Q_o^п = Q_o^p + Q_v^p, \text{ Вт.} \quad (3.1)$$

Расчетная тепловая производительность водоподогревателей для систем горячего водоснабжения с учетом потерь теплоты подающими и циркуляционными трубопроводами $Q_{гвс}^п$ определяется при температурах воды в точке излома графика температур воды. При наличии баков-аккумуляторов нагреваемой воды у потребителей – по среднему тепловому потоку на горячее водоснабжение (СНиП 2.04.07-86*). При отсутствии баков-аккумуляторов нагреваемой воды у потребителей – по максимальным тепловым потокам на горячее водоснабжение (СНиП 2.04.07-86*).

При отсутствии данных о величине потерь теплоты трубопроводами систем горячего водоснабжения допускается тепловые потоки на горячее водоснабжение определять по формулам:

- при наличии баков-аккумуляторов

$$Q_{гвс}^{cp} = \frac{c}{3,6} \cdot G_{гвс}^{cp} (55 - t_x) \cdot (1 + k_{тп}), \text{ Вт,} \quad (3.2)$$

где $k_{тп}$ – коэффициент, учитывающий потери теплоты трубопроводами систем горячего водоснабжения, принимаемый по табл. 3.1;

- при отсутствии баков-аккумуляторов

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{max}} = \frac{c}{3,6} \cdot (G_{\text{ГВС}}^{\text{max}} + G_{\text{ГВС}}^{\text{ср}} \cdot \kappa_{\text{ТП}}) \cdot (55 - t_x), \text{ Вт.} \quad (3.3)$$

Таблица 3.1

Коэффициент, учитывающий потери теплоты трубопроводами

Типы систем горячего водоснабжения	Коэффициент, учитывающий потери теплоты трубопроводами, $\kappa_{\text{ТП}}$	
	при наличии тепловых сетей горячего водоснабжения после ЦТП	без тепловых сетей горячего водоснабжения
С изолированными стояками без полотенцесушителей	0,15	0,1
То же с полотенцесушителями	0,25	0,2
С неизолированными стояками и полотенцесушителями	0,35	0,3

При отсутствии данных о количестве и характеристике водоразборных приборов часовой расход горячей воды $G_{\text{ГВС}}^{\text{max}}$ для жилых районов допускается определять по формуле (3.4)

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{max}} = \kappa_{\text{ч}} \sum G_{\text{ГВС}}^{\text{max}}, \text{ кг/ч,} \quad (3.4)$$

где $\kappa_{\text{ч}}$ – коэффициент часовой неравномерности водопотребления, принимаемый по табл. 3.2. Для систем горячего водоснабжения, обслуживающих одновременно жилые и общественные здания, коэффициент часовой неравномерности следует принимать по сумме численности жителей в жилых зданиях и условной численности жителей $U_{\text{усл}}$ в общественных зданиях, определяемой по формуле

$$U_{\text{усл}} = 0,25 \cdot G_{\text{ГВС}}^{\text{общ.ср}}, \text{ чел.,} \quad (3.5)$$

где $G_{\text{ГВС}}^{\text{общ.ср}}$ – средний расход воды на горячее водоснабжение за отопительный период для общественных зданий, (СНиП 2.04.01-85), кг/ч.

При отсутствии данных о назначении общественных зданий допускается при определении коэффициента часовой неравномерности по табл. 3.2 условно численность жителей принимать с коэффициентом 1,2.

Таблица 3.2

Коэффициент часовой неравномерности

Численность жителей	150	250	350	500	700	1000	1500	2000
Коэффициент часовой неравномерности водопотребления $k_{\text{ч}}$	5,15	4,5	4,1	3,75	3,5	3,27	3,09	2,97
Численность жителей	2500	3000	4000	5000	6000	7500	10000	20000
Коэффициент часовой неравномерности водопотребления $k_{\text{ч}}$	2,9	2,85	2,78	2,74	2,7	2,65	2,6	2,4

3.2. Определение параметров для расчета водоподогревателей отопления

Расчет поверхности нагрева водоподогревателей *отопления* F проводится при температуре воды в тепловой сети, соответствующей расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления, и на расчетную производительность $Q_0^{\text{п}}$, определенную по формуле (3.1):

$$F = \frac{Q_0^{\text{п}}}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}}, \text{ м}^2, \quad (3.6)$$

где температурный напор $\Delta t_{\text{ср}}$ водоподогревателя отопления определяется по формуле

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(\tau_1 - \tau_{01}) - (\tau_{02} - \tau_2)}{2,3 \cdot \lg \frac{\tau_1 - \tau_{01}}{\tau_{02} - \tau_2}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.7)$$

Температура *нагреваемой* воды принимается:

- на *входе* в водоподогреватель τ_2 – равной температуре воды в обратном трубопроводе систем отопления при температуре наружного воздуха $t_0^{\text{п}}$;
- на *выходе* из водоподогревателя τ_{01} – равной температуре воды в подающем трубопроводе тепловых сетей за ЦТП или в подающем трубопроводе системы отопления при установке водоподогревателя в ИТП при температуре наружного воздуха $t_0^{\text{п}}$.

При *независимом* присоединении систем отопления и вентиляции через общий водоподогреватель температура нагреваемой воды в обратном трубопроводе на входе в водоподогреватель определяется с учетом температуры воды после присоединения трубопровода системы вентиляции. При расходе теплоты на вентиляцию не более 15 % суммарного максимального часового расхода теплоты на отопление допускается температуру нагреваемой воды перед водоподогревателем принимать равной температуре воды в обратном трубопроводе системы отопления.

Температура *греющей* воды принимается:

- на *входе* в водоподогреватель – равной температуре воды в подающем трубопроводе тепловой сети на вводе в тепловой пункт τ_1 (при температуре наружного воздуха t_0^p);
- на *выходе* из водоподогревателя τ_{02} – на 5–10 °С выше температуры воды в обратном трубопроводе системы отопления (при расчетной температуре наружного воздуха t_0^p).

Расчетные расходы воды греющей G_o^r и нагреваемой $G_o^{n(max)}$ для расчета водоподогревателей систем отопления следует определять по формулам:

– для *греющей* воды

$$G_o^r = \frac{3,6 \cdot Q_o^p}{(\tau_1 - \tau_{02})c}, \text{ кг/ч;} \quad (3.8)$$

– для *нагреваемой* воды

$$G_o^{n(max)} = \frac{3,6 \cdot Q_o^p}{(\tau_{01} - \tau_2)c}, \text{ кг/ч.} \quad (3.9)$$

При *независимом* присоединении систем отопления и вентиляции через общий водоподогреватель расчетные расходы греющей G_o^r и нагреваемой $G_o^{n(max)}$ воды определяются по формулам:

- для *греющей* воды

$$G_o^r = \frac{3,6 \cdot (Q_o^p + Q_B^p)}{(\tau_1 - \tau_{02})c}, \text{ кг/ч,} \quad (3.10)$$

где Q_o^p , Q_B^p – соответственно максимальные тепловые потоки на отопление и вентиляцию, Вт;

- для *нагреваемой* воды

$$G_o^{n(max)} = \frac{3,6 \cdot (Q_o^p + Q_B^p)}{(\tau_{01} - \tau_2)c}, \text{ кг/ч.} \quad (3.11)$$

3.3. Определение параметров для расчета водоподогревателей горячего водоснабжения, присоединенных по одноступенчатой схеме

Расчет поверхности нагрева водоподогревателей горячего водоснабжения производится при температуре воды в подающем трубопроводе тепловой сети, соответствующей точке излома графика температур воды и по расчетной производительности $Q_{ГВС}^п$

$$F = \frac{Q_{\text{ГВС}}^{\text{п}}}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}}, \text{ м}^2, \quad (3.12)$$

где $Q_{\text{ГВС}}^{\text{п}}$ определяется при наличии баков-аккумуляторов по формуле (3.2), а при отсутствии баков-аккумуляторов – по формуле (3.3).

Температура *нагреваемой* воды принимается: на входе в водоподогреватель t_x – равной 5 °С, если отсутствуют эксплуатационные данные; на выходе из водоподогревателя t_r – равной 60 °С, а при вакуумной деаэрации – 65 °С.

Температура *греющей* воды принимается: на входе в водоподогреватель τ_1''' – равной температуре воды в подающем трубопроводе тепловой сети на вводе в тепловой пункт при температуре наружного воздуха в точке излома графика температур сетевой воды, на выходе из водоподогревателя τ_1''' – равной 30 °С.

Расчетные расходы воды *греющей* $G_{\text{св}}$ и *нагреваемой* G_r для расчета водоподогревателя горячего водоснабжения следует определять по формулам:

– греющей воды

$$G_{\text{св}} = \frac{3,6Q_{\text{ГВС}}^{\text{п}}}{(\tau_1''' - \tau_{2r}''')c}, \text{ кг/ч}; \quad (3.13)$$

– нагреваемой воды

$$G_r = \frac{3,6Q_{\text{ГВС}}^{\text{п}}}{(t_r - t_x)c}, \text{ кг/ч}. \quad (3.14)$$

Температурный напор водоподогревателя горячего водоснабжения определяется по формуле

$$\Delta t = \frac{(\tau_{2r}''' - t_x) - (\tau_1''' - t_r)}{2,3 \lg \frac{\tau_{2r}''' - t_x}{\tau_1''' - t_r}}, \text{ } ^\circ\text{С}. \quad (3.15)$$

3.4. Определение параметров для расчета водоподогревателей горячего водоснабжения, присоединенных по двухступенчатой схеме

Методика расчета основана на том положении, что в час максимального водоразбора на горячее водоснабжение при расчетной для подбора водоподогревателей температуре наружного воздуха, соответствующей точке

излома центрального температурного графика, возможно сокращение подачи теплоты на отопление с последующей компенсацией в ночные часы.

Для выбора необходимого типоразмера и числа секций кожухотрубного либо числа пластин и числа ходов пластинчатого водоподогревателей определяется поверхность нагрева по расчетной производительности и температурам греющей и нагреваемой воды. Ниже приводится алгоритм теплового расчета:

1. Расчет поверхности нагрева F водоподогревателей горячего водоснабжения должен производиться при температуре воды в подающем трубопроводе тепловой сети, соответствующей точке излома графика температур воды, по формуле

$$F = \frac{Q_{\text{ГВС}}^{\text{П}}}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}}, \text{ м}^2, \quad (3.16)$$

где $Q_{\text{ГВС}}^{\text{П}}$ – расчетная тепловая производительность водоподогревателей горячего водоснабжения, Вт;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м² · °С);

$\Delta t_{\text{ср}}$ – среднелогарифмическая разность температур между греющей и нагреваемой водой (температурный напор), определяется по формуле

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \text{ }^{\circ}\text{С}. \quad (3.17)$$

2. Распределение расчетной тепловой производительности $Q_{\text{Г}}^{\text{П}}$ водоподогревателей между I-й и II-й ступенями осуществляется, исходя из условия, что нагреваемая вода во II-й ступени догревается до температуры $t_{\text{Г}} = 60 \text{ }^{\circ}\text{С}$, а в I-й ступени – до температуры $t_{\text{Г}}^{\text{I}}$, определяемой технико-экономическим расчетом или принимаемой на 5 °С менее температуры сетевой воды в обратном трубопроводе в точке излома графика.

Расчетная тепловая производительность водоподогревателей I-й и II-й ступеней $Q_{\text{ГВС}}^{\text{П, I}}$ определяется по формулам:

– для первой ступени

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{П, I}} = G_{\text{ГВС}}^{\text{max}} (t_{\text{Г}}^{\text{I}} - t_{\text{Х}}) \frac{c}{3,6}, \text{ Вт}; \quad (3.18)$$

– для второй ступени

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{П, II}} = G_{\text{ГВС}}^{\text{max}} (t_{\text{Г}} - t_{\text{Г}}^{\text{I}}) \frac{c}{3,6}, \text{ Вт}. \quad (3.19)$$

3. Температура нагреваемой воды после I-й ступени определяется по формулам:

– при *зависимом* присоединении системы отопления

$$t_{\Gamma}^I = \tau_2' - 5, \text{ }^{\circ}\text{C}; \quad (3.20)$$

– при *независимом* присоединении системы отопления

$$t_{\Gamma}^I = \tau_{02}' - 5, \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (3.21)$$

4. Максимальный расход нагреваемой воды, проходящей через первую и вторую ступени водоподогревателя, следует рассчитывать, исходя из максимального теплового потока на горячее водоснабжение $Q_{\text{ГВС}}^{\text{max}}$, определяемого по формуле (3.2), и нагрева воды до 60 °С во II-й ступени:

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{II}} = \frac{3,6G_{\text{ГВС}}^{\text{max}}}{(\tau_{\Gamma} - \tau_x)c}, \text{ кг/ч}. \quad (3.22)$$

5. Расход *греющей* воды $G_{\text{СВ}}^{\text{II}}$:

а) для тепловых пунктов при отсутствии вентиляционной нагрузки расход греющей воды принимается одинаковым для I-й и II-й ступеней водоподогревателей и определяется:

- при регулировании отпуска теплоты по *совмещенной* нагрузке отопления и горячего водоснабжения – по максимальному расходу сетевой воды на горячее водоснабжение (формула 3.23) либо по максимальному расходу сетевой воды на отопление (формула 3.24):

$$G_{\text{СВ}}^{\text{II}} = G_{\text{ГВС}}^{\text{max}} = \frac{3,6 \cdot 0,55 Q_{\text{ГВС}}^{\text{max}}}{(\tau_1''' - \tau_2''')c}, \text{ кг/ч}; \quad (3.23)$$

$$G_{\text{СВ}}^{\text{II}} = G_0^{\text{II}} = \frac{3,6 Q_0^{\text{P}}}{(\tau_1 - \tau_2)c}, \text{ кг/ч}. \quad (3.24)$$

В качестве расчетной принимается большая из полученных величин.

- при регулировании отпуска теплоты по нагрузке отопления расчетный расход *греющей* воды определяется по формуле

$$G_{\text{СВ}}^{\text{II}} = G_0^{\text{P}} + 1,2 G_{\text{ГВС}}^{\text{CP}}, \text{ кг/ч}, \quad (3.25)$$

где $G_{\text{ГВС}}^{\text{CP}}$ – расход греющего теплоносителя для обеспечения $Q_{\text{ГВС}}^{\text{CP}}$;

$$G_{\text{СВ}}^{\text{CP}} = \frac{3,6 Q_{\text{ГВС}}^{\text{CP}}}{c(\tau_1''' - \tau_2''')} \left(\frac{55 - t_{\Gamma}^I}{55 - t_x} + 0,2 \right), \text{ кг/ч}. \quad (3.26)$$

При этом следует проверять температуру греющей воды на выходе из водоподогревателя I-й ступени при $Q_{\text{ГВС}}^{\text{max}}$ по формуле

$$\tau_2^I = \tau_1''' - \frac{3,6Q_{ГВС}^{\max}}{cG_{СВ}^{\Pi}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.27)$$

В случае если температура, определенная по формуле (3.27), получилась ниже $15 \text{ } ^\circ\text{C}$, то τ_2^I следует принимать равной $15 \text{ } ^\circ\text{C}$, а расход греющей воды пересчитать по формуле

$$G_{СВ}^{\Pi} = \frac{3,6Q_{ГВС}^{\max}}{(\tau_1''' - 15)c}, \text{ кг/ч}. \quad (3.28)$$

б) для тепловых пунктов при *наличии* вентиляционной нагрузки расход *греющей* воды принимается:

- для I-й ступени

$$G_{СВ}^{\Pi I} = G_{СВ}^{\max} + G_o^p, \text{ кг/ч}; \quad (3.29)$$

- для II-й ступени

$$G_{СВ}^{\Pi II} = G_{СВ}^{\max}, \text{ кг/ч}. \quad (3.30)$$

6. Температура *греющей* воды на выходе из водоподогревателя II-й ступени τ_2'' :

$$\tau_2^{\Pi} = \tau_1''' - \frac{3,6Q_{ГВС}^{\Pi II}}{cG_{СВ}^{\Pi II}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.31)$$

7. Температура *греющей* воды на входе в водоподогреватель I-й ступени:

$$\tau_1^I = \frac{\tau_2^{\Pi} G_{ГВС}^{\max} + \tau_2 G_o^p}{G_{СВ}^{\max} + G_o^p}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.32)$$

8. Температура *греющей* воды на выходе из водоподогревателя I-й ступени τ_2^I :

$$\tau_2^I = \tau_1''' - \frac{3,6Q_{ГВС}^{\Pi}}{cG_{СВ}^{\Pi I}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.33)$$