

## Методические указания по решению задачи

При проектировании систем теплоснабжения для существующих городов и поселков расчетные данные о сезонных тепловых нагрузках следует принимать из проектов отопления и вентиляции. При перспективном строительстве расчетные расходы тепла рекомендуется принимать из типовых проектов с соответствующей корректировкой по климатическим условиям района строительства.

При отсутствии проектных данных отопительные тепловые нагрузки зданий определяются одним из следующих методов:

- 1) расчетом теплопотерь через элементы ограждающих конструкций и добавления потерь на нагрев инфильтрационного воздуха [1];
- 2) расчетом теплопотерь по укрупненным показателям [1, 2];
- 3) определением теплообмена установленного в здании отопительно-вентиляционного оборудования [1, 3].

Расчет теплопотерь через ограждающие конструкции выполняется при необходимости более точного определения тепловых потерь, например, при расчетах, требующих составления теплового баланса здания и отдельных его помещений.

Конечной целью расчетов теплового потребления является определение тепловых нагрузок (максимальных, текущих) объектов системы теплоснабжения на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, расчет и построение графиков тепловых нагрузок (суточных, годовых и по продолжительности) и температур сетевой воды для заданного района теплоснабжения.

### Тепловая нагрузка на отопление и вентиляцию

Основная задача отопления заключается в поддержании внутренней температуры помещений на заданном уровне. Для этого необходимо сохранение равновесия между тепловыми потерями здания и теплопритоком. Условие теплового равновесия здания может быть выражено в виде равенства [1]

$$Q_{\text{ос}} = Q_{\text{т}} + Q_{\text{и}} = Q_{\text{о}} + Q_{\text{тв}}, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{ос}}$  – суммарные тепловые потери здания;

$Q_{\text{т}}$  – теплопотери теплопередачей через наружные ограждения;

$Q_{\text{и}}$  – теплопотери инфильтрацией из-за поступления в помещение через неплотности наружных ограждений холодного воздуха;

$Q_{\text{о}}$  – подвод тепла в здание через отопительную систему;

$Q_{\text{тв}}$  – внутренние тепловыделения.

Теплопотери  $Q_T$  через наружные ограждения при отсутствии проектных данных определяются по укрупненным показателям: общей площади « $F$ » или наружному объему здания « $V_H$ » [10]. Максимальный тепловой поток на отопление жилых и общественных зданий без учета инфильтрации

$$Q_{mf}^p = q_{of} F (1 + K_1) 10^{-6}, \text{ МВт (Гкал/ч)}; \quad (2)$$

$$Q_{mv}^p = \beta q_{ov} V_H (t_B - t_{HO}) 10^{-6}, \text{ МВт (Гкал/ч)}; \quad (3)$$

где  $q_{of}$ ,  $q_{ov}$  – соответственно удельный тепловой поток Вт/ м<sup>2</sup> (ккал/ м<sup>2</sup>) на отопление 1 м<sup>2</sup> общей площади, удельная отопительная характеристика, Вт/( м<sup>3</sup>· К) (ккал/(м<sup>3</sup>·ч·°С)), [2];

$F$  – общая площадь жилых зданий, м<sup>2</sup>;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий, при отсутствии данных принимается равным 0,25 [2];

$\beta$  – поправочный коэффициент, учитывающий климатические условия района [2];

$V_H$  – наружный объем здания, м<sup>3</sup>;

$t_B$  – расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, °С [1];

$t_{HO}$  – расчетная температура наружного воздуха для отопления, °С, [2];

Средний тепловой поток на отопление для средней  $t_{HCP}$  за отопительный сезон температуры наружного воздуха [2]

$$Q_o = Q_o^p \frac{(t_B - t_{HCP})}{(t_B - t_{HO})}, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (4)$$

где  $t_{HCP}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С [2].

Формулой (4) можно воспользоваться для определения сезонной тепловой нагрузки при температуре наружного воздуха  $t_{HO} \leq t_{HCP} \leq 8$  °С.

Расход тепла на вентиляцию жилых зданий, не имеющих, как правило, специальной приточной системы невелик. Он обычно не превышает 5 % расхода тепла на отопление и учитывается величиной удельной теплопотери  $q_0$ .

Расход тепла на вентиляцию производственных и коммунальных предприятий, а также общественных и культурных учреждений составляет значительную долю от суммарного теплопотребления объекта. В производственных предприятиях расход тепла на вентиляцию часто превышает расход на отопление.

Ориентировочно максимальный тепловой поток на вентиляцию общественных зданий определяется по укрупненным показателям: общей площади « $F$ » или наружному объему здания « $V_H$ » – соответственно по формулам (5) и (6)

$$Q_B^p = K_2 K_1 q_0 F 10^{-6}, \text{ МВт (Гкал/ч);} \quad (5)$$

$$Q_B^p = \beta q_B V_H (t_B - t_{HB}) 10^{-6}, \text{ МВт (Гкал/ч),} \quad (6)$$

где  $K_2$  – коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию общественных зданий, принимается для построек до 1985 г. – 0,4; после 1985 г. – 0,6;

$q_B$  – удельная вентиляционная характеристика Вт/(м<sup>3</sup>·К) (ккал/(м<sup>3</sup>·ч·°C)), [2];

$t_{HB}$  – расчетная температура наружного воздуха для вентиляции °C [2, 9].

Средний тепловой поток на вентиляцию для средней температуры воздуха за отопительный сезон

$$Q_B = Q_B^p \frac{(t_B - t_{HCP})}{(t_B - t_{HO})}, \text{ МВт (Гкал/ч).} \quad (7)$$

### Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение

Тепловое потребление для целей горячего водоснабжения в течение отопительного периода изменяется сравнительно мало, но отличается большой неравномерностью по часам суток. Летом расход тепла в системах горячего водоснабжения жилых зданий по сравнению с зимой уменьшается на 30–35 %. Это объясняется тем, что в летнее время температура воды в холодном водопроводе на 10–12 °C выше, чем в зимний период. Кроме того, значительная часть городского населения летом в субботние и воскресные дни выезжает в загородные зоны, т.е. в те дни, когда в жилом секторе зимой наблюдаются максимальные разборы горячей воды.

По своему значению во многих жилых районах крупных городов нагрузка на ГВС делается сопоставимой отопительной нагрузке. В ряде районов годовой отпуск тепла на горячее водоснабжение достигает 40 % суммарного отпуска тепла по жилому району.

Средний тепловой поток на горячее водоснабжение (ГВС) жилых и общественных зданий, МВт (Гкал/ч) [2]

$$Q_{ГВС}^{cp} = \frac{1,2 m (a + b)(55 - t_x) c}{24 \cdot 3,6} 10^{-6}, \text{ МВт} \quad (8)$$

или

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}} = q_{\text{ГВС}} m, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (9)$$

где  $m$  – расчетное число потребителей горячей воды;

$a$  – норма расхода воды на ГВС при температуре 55 °С на одного человека в сутки, проживающего в здании с горячим водоснабжением, принимаемая в зависимости от степени комфортности [2], л/сут на 1 чел;

$b$  – норма расхода воды на ГВС, потребляемой в общественных зданиях при температуре 55 °С [2], л/сут на 1 чел;

$c$  – удельная теплоемкость воды, 4,187 кДж/(кг·°С) (1 ккал/(кг·°С));

$t_x$  – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период (при отсутствии других данных принимается равной 5 °С), °С;

$q_{\text{ГВС}}$  – укрупненный показатель среднего теплового потока на горячее водоснабжение на одного человека, Вт.

Максимальный тепловой поток на ГВС жилых и общественных зданий

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{max}} = 2,4 Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}} 10^{-6}, \text{ МВт (Гкал/ч)}. \quad (10)$$

Средний тепловой поток на ГВС в неотапливаемый (летний) период [2]

$$Q_{\text{ГВС.л}}^{\text{ср}} = Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}} \frac{(55 - t_{\text{л}})}{(55 - t_3)} \beta, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (11)$$

где  $t_3, t_{\text{л}}$  – соответственно температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период (при отсутствии данных принимается равной 5 °С) и неотапливаемый (летний) период (принимается равной 15 °С) [2];

$\beta$  – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотапливаемый период по отношению к отопительному периоду, принимаемый при отсутствии данных для жилищно-коммунального сектора равным 0,8 (для курортных и южных городов  $\beta = 1,5$ ), для предприятий – 1,0 [2].

### Расчетная часовая нагрузка района теплоснабжения

Расчетная тепловая нагрузка микрорайона определяется как сумма отдельных видов нагрузок для всех теплопотребителей района:

$$Q_{\text{мкр}}^{\text{р}} = \sum_1^k Q_0^{\text{р}} + \sum_1^l Q_{\text{в}}^{\text{р}} + \sum_1^m Q_{\text{в}}^{\text{max}}, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (12)$$

где  $k, l, m$  – соответственно количество потребителей, имеющих отопительную, вентиляционную и нагрузку горячего водоснабжения.

Расчетная нагрузка района теплоснабжения получается суммированием нагрузок отдельных микрорайонов:

$$Q^p = \sum_1^n Q_{\text{мкр}}^p, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (13)$$

где  $n$  – количество микрорайонов, образующих район теплоснабжения.

Расчетная тепловая мощность ТЭЦ определяется с учетом расчетной нагрузки района теплоснабжения и потерь тепла в тепловых сетях:

$$Q_{\text{ТЭЦ}}^p = Q^p + Q_{\text{тс}}^{\text{пот}}, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (14)$$

где  $Q_{\text{тс}}^{\text{пот}}$  – потери тепла в тепловых сетях, принимаются в городских тепловых сетях 3–5 % от максимальной тепловой нагрузки.

Для определения расхода топлива, разработки режимов использования оборудования и графиков его ремонта, загрузки и графика отпусков обслуживающего персонала необходимо знать годовой расход тепла на теплоснабжение, а также его распределение по сезонам (зима, лето) или по отдельным месяцам.

### **Определение расходов сетевой воды у потребителей систем отопления и вентиляции**

Расчетный часовой расход сетевой воды (максимальный при расчетной температуре наружного воздуха на отопление  $t_o^p$ ) для определения диаметров труб в водяных тепловых сетях при качественном регулировании отпуска теплоты определяется отдельно для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения [2].

Расчетный расход воды на отопление

$$G_o^p = \frac{Q_o^p}{c(t_1 - t_2)}, \text{ кг}, \quad (15)$$

где  $t_1, t_2$  – соответственно температура воды в подающем и обратном трубопроводе тепловой сети при расчетной температуре наружного воздуха на отопление  $t_o^p$ .

Расчетный расход воды на вентиляцию

$$G_B^p = \frac{Q_B^p}{c(t_1 - t_2)}, \text{ кг/ч}. \quad (16)$$

### **Расход воды на горячее водоснабжение в открытых системах теплоснабжения**

В открытых системах теплоснабжения разбор воды на горячее водоснабжение осуществляется в зависимости от температуры воды в сети. При температуре воды в подающем трубопроводе, равной 60 °С, во-

доразбор ведется только из подающей линии. С повышением температуры сетевой воды ( $t_1 > 60$  °С) водоразбор осуществляется одновременно из обоих трубопроводов в таком соотношении, чтобы температура воды, поступающей на горячее водоснабжение, была равна 60 °С. В холодный период отопительного сезона при  $t_2 \geq 60$  °С разбор воды происходит только из обратной магистрали. Температура горячей воды в системах горячего водоснабжения у потребителей для открытых систем должна быть не менее 60 °С, для закрытых – не менее 70 °С, [2].

Средний расход воды на горячее водоснабжение

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}}}{c(t_{\text{Г}} - t_{\text{ХЗ}})}, \text{ кг/ч.} \quad (17)$$

Максимальный расход воды на горячее водоснабжение

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{max}} = \frac{Q_{\text{ГВС}}^{\text{max}}}{c(t_{\text{Г}} - t_{\text{ХЗ}})}, \text{ кг/ч.} \quad (18)$$

### **Расход воды на горячее водоснабжение в закрытых системах теплоснабжения**

Максимальный расход воды на горячее водоснабжение в закрытых тепловых сетях определяется в зависимости от схемы включения подогревателей горячего водоснабжения [2].

Средний расход воды при параллельной схеме включения подогревателей

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}}}{c(t_{1\text{и}} - t_{3\text{и}})}, \text{ кг/ч,} \quad (19)$$

где  $t_{1\text{и}}$ ,  $t_{3\text{и}}$  – соответственно температуры воды в подающем трубопроводе тепловой сети в точке излома графика температур воды и после параллельно включенного подогревателя горячего водоснабжения в точке излома графика температур (при отсутствии данных  $t_{3\text{и}}$  принимается равной 30 °С), °С.

Максимальный расход воды при параллельной схеме

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{max}} = \frac{Q_{\text{ГВС}}^{\text{max}}}{c(t_{1\text{и}} - t_{3\text{и}})}, \text{ кг/ч.} \quad (20)$$

Средний расход воды на горячее водоснабжение при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей:

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}}}{c(t_{1\text{и}} - t_{2\text{и}})} \left( \frac{55 - t_{1\text{ст}}}{55 - t_{\text{ХЗ}}} + 0,2 \right), \text{ кг/ч,} \quad (21)$$

где  $t_{2и}$  – температуры воды в обратном трубопроводе тепловой сети в точке излома графика температур, °С;

$t_{1ст}$  – температура сетевой воды после первой ступени подогрева при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей, °С.

Максимальный расход воды на горячее водоснабжение при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей

$$G_{ГВС}^{max} = \frac{0,55Q_{ГВС}^{max}}{c(t_{1и} - t_{2и})}, \text{ кг/ч.} \quad (22)$$

Суммарные расчетные расходы сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях в открытых и закрытых системах при качественном регулировании [9]

$$G_c^p = G_o^p + G_b^p + K_3 G_{ГВС}^{cp}, \text{ кг/ч,} \quad (23)$$

где  $K_3$  – коэффициент, учитывающий долю среднего расхода воды на горячее водоснабжение при регулировании по нагрузке отопления, следует принимать по табл. 3.

Для закрытых систем теплоснабжения при регулировании по нагрузке отопления и тепловом потоке менее 100 МВт при наличии баков-аккумуляторов у потребителей коэффициент  $K_3=1$ . При регулировании по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения  $K_3 = 0$ .

Таблица 3

Системы теплоснабжения	Тепловой поток	Значение коэффициента $K_3$
Открытая	100 и более	0,6
	менее 100	0,8
Закрытая	100 и более	1,0
	менее 100	1,2

Для потребителей при  $\frac{Q_{ГВС}^{max}}{Q_o^p} > 1,0$  при отсутствии баков-аккумуляторов, а также с тепловым потоком  $\leq 10$  МВт суммарный расчетный расход воды [2]

$$G_c^p = G_o^p + G_b^p + G_{ГВС}^{max}, \text{ кг/ч.} \quad (24)$$

Расчетный расход сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях в неотапительный период [2]

$$G_{\text{сл}}^p = \beta G_{\text{ГВС}}^{\text{max}}, \text{ кг/ч.} \quad (25)$$

При этом максимальный расход воды на горячее водоснабжение определяется для открытых систем теплоснабжения по формуле (18) при температуре холодной воды в неотапительный период, а для закрытых систем при всех схемах присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения по формуле (20).

Расход воды в обратном трубопроводе двухтрубных водяных тепловых сетей открытых систем теплоснабжения принимается в размере 10 % от расчетного расхода воды определенного по формуле (25).

## Расчет температурных графиков сетевой воды

### Качественное регулирование

При качественном регулировании задача расчета состоит в определении температуры сетевой воды в зависимости от тепловой нагрузки. Расход воды остается постоянным в течение всего отопительного сезона.

Выражение для определения температуры сетевой воды в подающем трубопроводе

$$\tau_1 = t_{\text{в}} + \Delta t_0' \bar{Q}_0^{0,8} + (\delta t_0' - 0,5 \Theta') \bar{Q}_0, \text{ } ^\circ\text{C.} \quad (26)$$

Температура воды после отопительной установки равна

$$\tau_{2,0} = \tau_1 - \delta \tau_0' \bar{Q}_0 = t_{\text{в}} + \Delta t_0' \bar{Q}_0^{0,8} - 0,5 \Theta' \bar{Q}_0, \text{ } ^\circ\text{C.} \quad (27)$$

Температура воды после смесительного устройства на вводе составит

$$\tau_3 = \tau_{2,0} + \Theta' \bar{Q}_0 = t_{\text{в}} + \Delta t_0' \bar{Q}_0^{0,8} + 0,5 \Theta' \bar{Q}_0, \text{ } ^\circ\text{C.} \quad (28)$$

Как следует из формул (26)–(28), температура воды является однозначной функцией относительной нагрузки. Принимая  $\bar{Q}_0 = 0 \div 1$ , можно найти соответствующие значения температуры воды. Общий вид температурного графика при исходных данных  $\tau_1' = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\tau_{2,0}' = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\tau_3' = 95 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{в}} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$  показан на рис. 1. Приведенный график называется *отопительным*.

Зависимость относительного расхода тепла на отопление от температуры наружного воздуха можно представить графически (рис. 1) с помощью отношения

$$\bar{Q}_0 = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_0^p}. \quad (29)$$

Значения температур сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах, соответствующие различным относительным расходам тепла на отопление, приведены в справочной литературе.

Расчетный расход воды на отопление определяется по формуле

$$G'_0 = \frac{Q'_0}{c(\tau'_1 - \tau'_{2,0})}, \text{ т/ч.} \quad (30)$$

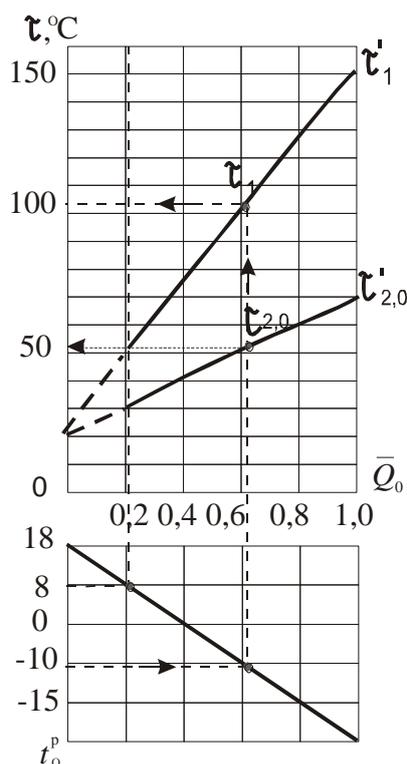


Рис. 1. График температур качественного регулирования отопительной нагрузки (зависимые схемы присоединения отопительных установок)

### Качественно-количественное регулирование

При *качественно-количественном* регулировании осуществляется изменение расхода и температуры сетевой воды в зависимости от величины отопительной нагрузки.

Температура воды в подающем и обратном трубопроводах:

$$\tau_1 = t_B + \Delta t_0 \bar{Q}_0^{0,8} + (\delta \tau_0 - 0,5 \Theta') \frac{\bar{Q}_0}{G_0}, ^\circ\text{C}, \quad (31)$$

$$\tau_{2,0} = t_B + \Delta t_0 \overline{Q_0}^{0,8} - 0,5 \Theta \frac{\overline{Q_0}}{\overline{G_0}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (32)$$

Плавное изменение расхода воды практически осуществить сложно, поэтому оно заменяется ступенчатым регулированием (рис. 2).

Ступенчатое изменение расхода сетевой воды приводит к ступенчатому изменению температуры.

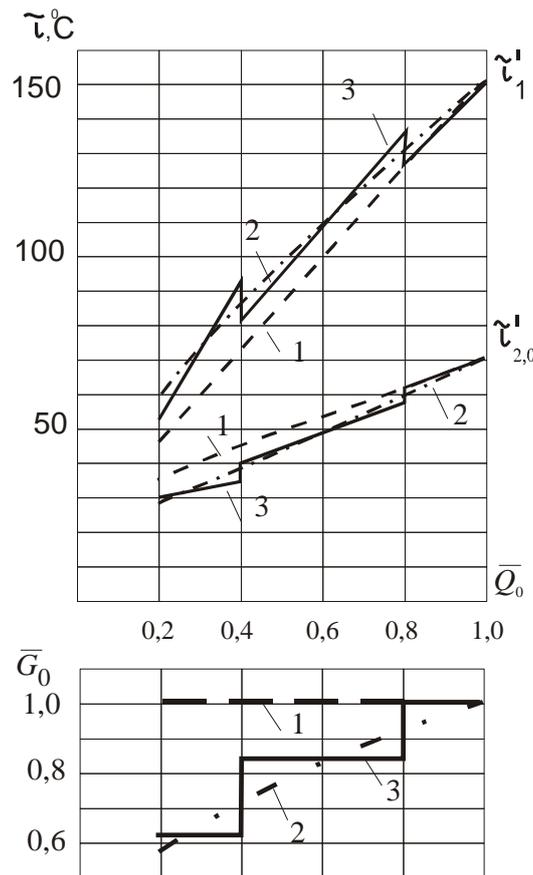


Рис. 2. График качественно-количественного регулирования отопительной нагрузки: 1 – отопительный график; 2 – качественно-количественное регулирование при плавном изменении расхода воды; 3 – качественно-количественное регулирование при ступенчатом изменении расхода воды

### Расчет повышенного температурного графика

Наличие нагрузки горячего водоснабжения увеличивает расход сетевой воды, что приводит к увеличению диаметров труб, следовательно, и стоимости тепловой сети. Значительное сокращение расчетных расходов воды достигается при центральном качественном регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. При этом методе регулирования в системе поддерживается постоянный расход

сетевой воды, равный расчетному расходу на отопление  $G_0'$ . Для удовлетворения нагрузки горячего водоснабжения температура воды в подающем трубопроводе должна быть выше, чем требуется по отопительному графику.

Центральное качественное регулирование по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения принимается при суммарном среднечасовом расходе тепла на горячее водоснабжение более 15 % от расхода на отопление ( $Q_{\text{ср.г}}/Q'_0 > 15\%$ ).

Присоединение подогревателей горячего водоснабжения не менее чем у 75 % абонентов должно быть выполнено по двухступенчатой последовательной схеме (рис. 3).

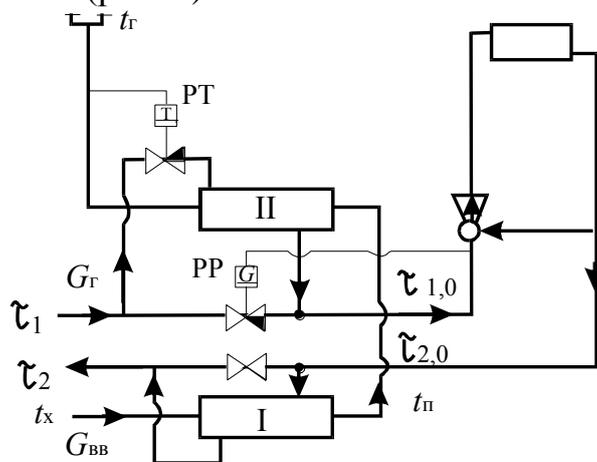


Рис. 3. Присоединение подогревателей горячего водоснабжения по двухступенчатой последовательной схеме

Суточный баланс тепла на отопление обеспечивается при расчете температурного графика по «балансовой» нагрузке горячего водоснабжения  $Q_{\text{г}}^{\text{б}}$ , превышающей среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение:

$$Q_{\text{г}}^{\text{б}} = \chi^{\text{б}} Q_{\text{ср.г}}, \text{ кВт}, \quad (33)$$

где  $\chi^{\text{б}}$  – балансовый коэффициент, учитывающий неравномерность суточного графика горячего водоснабжения, обычно  $\chi^{\text{б}} = 1,2$ .

Задачей расчета является определение перепадов температур сетевой воды в подогревателе верхней ступени ( $\delta_1 = \tau_1 - \tau_{1,0}$ ) и нижней ступени ( $\delta_2 = \tau_{2,0} - \tau_2$ ).

При постоянном расходе сетевой воды и при «балансовой» нагрузке горячего водоснабжения  $Q_{\text{г}}^{\text{б}}$  суммарный перепад температур сетевой воды в подогревателях верхней и нижней ступени  $\delta$  – величина постоянная:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{Q_{\Gamma}^{\delta}}{c G_0} = \frac{Q_{\Gamma}^{\delta}}{Q_0} \delta \tau_0' = \text{const}, \text{ } ^{\circ}\text{C}, \quad (34)$$

где  $\delta \tau_0'$  – расчетная разность температур сетевой воды по отопительно-му графику.

Перепады температур сетевой воды в подогревателях верхней и нижней ступени определяют для каждого диапазона отдельно.

Диапазон I. Предварительно определяют температуру водопроводной воды на выходе из подогревателя нижней ступени I  $t_{\Pi}'''$  и  $Q_{\Gamma}^{\delta}$  при температуре наружного воздуха  $t_{\text{н}}'''$ , задавшись величиной недогрева  $\Delta t_{\Pi}''' = 5 \div 10 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ :

$$t_{\Pi}''' = \tau_{2,0}''' - \Delta t_{\Pi}''', \text{ } ^{\circ}\text{C}. \quad (35)$$

Перепад температур сетевой воды в подогревателе нижней (I) ступени  $\delta_2''' = \tau_{2,0}''' - \tau_2'''$  находят из уравнения

$$Q_{\Gamma}^{\delta} = Q_{\Gamma}^{\delta} \frac{t_{\Pi}''' - t_{\text{х}}}{t_{\Gamma} - t_{\text{х}}} = G_0' c \delta_2''', \text{ кВт}, \quad (36)$$

откуда

$$\delta_2''' = \frac{Q_{\Gamma}^{\delta}}{c G_0'} \frac{t_{\Pi}''' - t_{\text{х}}}{t_{\Gamma} - t_{\text{х}}} = \frac{Q_{\Gamma}^{\delta}}{Q_0'} \frac{t_{\Pi}''' - t_{\text{х}}}{t_{\Gamma} - t_{\text{х}}} \delta \tau_0', \text{ } ^{\circ}\text{C}. \quad (37)$$

При известном суммарном перепаде температур  $\delta$  значение  $\delta_1'''$  определяют из выражения

$$\delta_1''' = \delta - \delta_2''', \text{ } ^{\circ}\text{C}. \quad (38)$$

Диапазон II. Перепад температур сетевой воды в подогревателе нижней ступени находят по формуле

$$\delta_2 = \delta_2''' \frac{\tau_{2,0}''' - t_{\text{х}}}{\tau_2''' - t_{\text{х}}}, \text{ } ^{\circ}\text{C}. \quad (39)$$

По найденным значениям  $\delta_1$ , и  $\delta_2$  и известным температурам воды отопительно-бытового графика ( $\tau_{1,0}$ ,  $\tau_{2,0}$ ) находят температуры на подающем и обратном трубопроводах при регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения:

$$\tau_1 = \tau_{1,0} + \delta_1, \text{ } ^{\circ}\text{C}, \quad (40)$$

$$\tau_2 = \tau_{2,0} - \delta_2, \text{ } ^{\circ}\text{C}. \quad (41)$$

Графики температур, построенные с помощью равенств (40) и (41), называют *повышенными* (рис. 4).

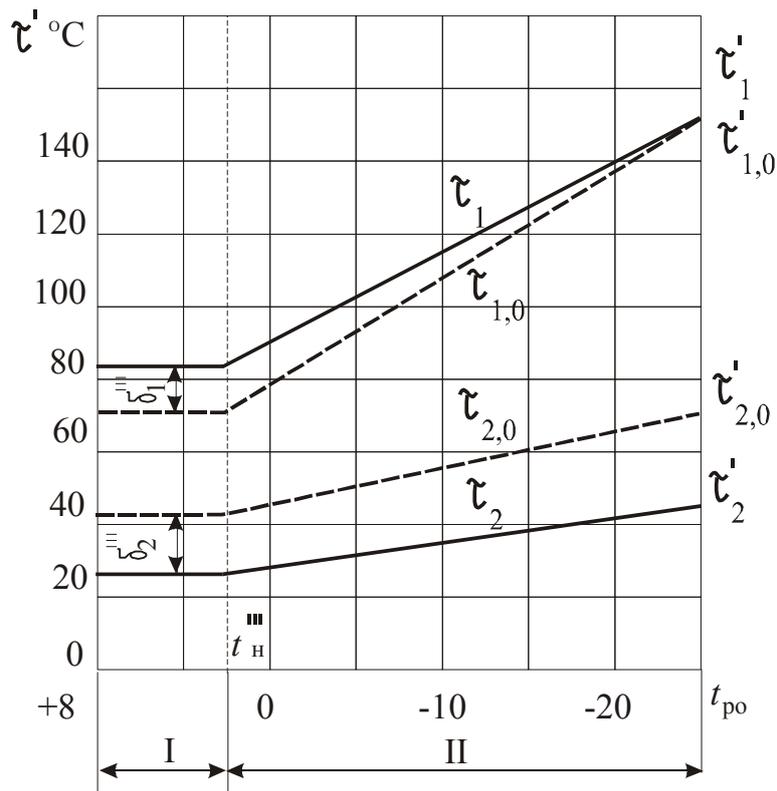


Рис. 4. График температур по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения в закрытой системе теплоснабжения («повышенный» график):  $\tau_{1,0}$ ,  $\tau_{2,0}$  – отопительно-бытовой график;  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  – «повышенный» график

По мере понижения температуры наружного воздуха и роста температуры воды после отопления соответственно возрастает нагрузка подогревателя нижней ступени и увеличивается значение  $\delta_2$ . Перепад температур сетевой воды в подогревателе верхней ступени пропорционально уменьшается.

При независимом присоединении установок (рис. 5) для расчета повышенного графика необходимо предварительно определить по формулам (42) и (43) температуры сетевой воды перед отопительным подогревателем ( $\tau_{1,T}$ ) и после него ( $\tau_{2,T}$ ). Расчет перепадов температур в ступенях I и II подогревателя горячего водоснабжения производится по формулам (2.42) – (2.50), при этом принимают вместо  $\tau_{1,0}$  и  $\tau_{2,0}$  соответственно  $\tau_{1,T}$  и  $\tau_{2,T}$ .

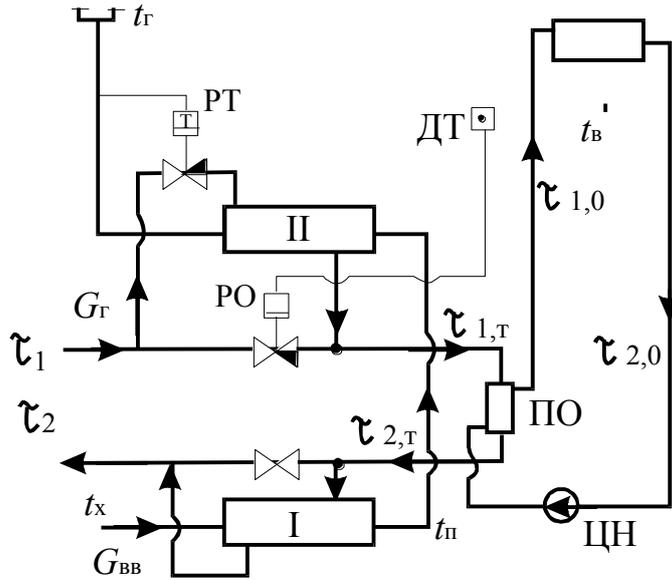


Рис. 5. Независимая схема присоединения отопительной системы при двухступенчатом последовательном присоединении подогревателей горячего водоснабжения: ПО – подогреватель отопления; ЦН – циркуляционный насос; РО – регулятор отопления; ДТ – датчик температуры воздуха в помещении (или моделирующее устройство)

Температура сетевой воды на входе в теплообменник равна

$$\tau_1 = \tau_{1,0} + \left( \frac{W_0}{\varepsilon_{\text{П}} W_{\text{М}}} - 1 \right) \delta \tau'_0 \bar{Q}_0 = \tau_{1,0} + \left( \frac{W_0}{\varepsilon_{\text{П}} W_{\text{М}}} - 1 \right) \frac{Q_0}{W_0}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (42)$$

где  $W_0$  – эквивалент расхода нагреваемой воды;

$\delta \tau'_0$  – расчетная разность температур нагреваемой воды,  $\delta \tau'_0 = \tau'_{1,0} - \tau'_{2,0}$ , ВТ;

$\varepsilon_{\text{П}}$  – безразмерная удельная теплопроизводительность подогревателя;

$W_{\text{М}}$  – меньшее значение эквивалента расхода воды через подогреватель.

Температура сетевой воды на выходе из теплообменника равна

$$\tau_2 = \tau_{2,0} + \frac{Q_0}{W_0} \left( \frac{W_0}{W_{\text{М}}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_{\text{П}}} - 1 \right), \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (43)$$

Расчет графиков центрального регулирования производят по режиму теплотребления «типового» абонента, для которого отношение средней часовой нагрузки горячего водоснабжения к расчетной отопительной такое же, как в целом по району. Для абонентов, режим теплотребления которых отличается от типового, предусматривается групповое или местное регулирование.

При разнородной тепловой нагрузке абонентов целесообразно сочетание центрального качественного регулирования по совместной нагрузке с местным количественным регулированием. Это становится возможным при замене регуляторов расхода РР регуляторами отопления РО, осу-

ществляющими местное регулирование отопительных систем по импульсу от температуры воздуха в помещении (см. рис. 5) или от устройства, моделирующего внутренний тепловой режим помещения.

### Расчет скорректированного температурного графика

В открытых системах теплоснабжения разбор воды на горячее водоснабжение осуществляется в зависимости от температуры воды в сети. При температуре воды в подающем трубопроводе, равной  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , водоразбор ведется только из подающей линии. С повышением температуры сетевой воды ( $\tau_1 > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) водоразбор осуществляется одновременно из обоих трубопроводов в таком соотношении, чтобы температура воды, поступающей на горячее водоснабжение, была равна  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В холодный период отопительного сезона, при  $\tau_{2,0} \geq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , разбор воды происходит только из обратной магистрали. Для смешения воды в абонентских узлах ввода предусматривается установка терморегуляторов (рис. 6). Изменение места и величины водоразбора существенно влияет на гидравлический и тепловой режимы системы теплоснабжения.

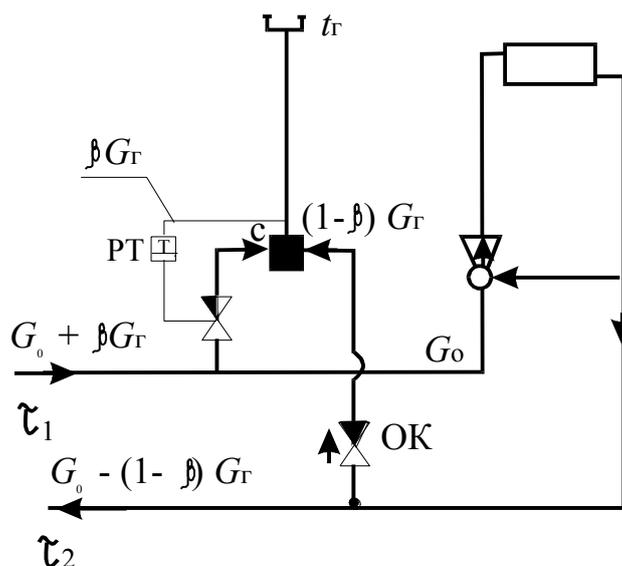


Рис. 6. Схема абонентского ввода в открытых системах теплоснабжения при центральном качественном регулировании по отопительной нагрузке: С – смеситель; ОК – обратный клапан

Выбор метода центрального регулирования производится в зависимости от соотношения тепловых нагрузок горячего водоснабжения и отопления, а также схемы абонентского узла ввода. Центральное качественное регулирование по отопительной нагрузке применяется при отношении  $Q_{\text{ср.г}}/Q_0 < 0,15$  и присоединении систем отопления и горячего водоснабже-

ния к тепловой сети по принципу несвязанного регулирования (рис. 6). В этом случае расход воды на отопление поддерживается регулятором расхода РР и не зависит от нагрузки горячего водоснабжения.

Температура сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах изменяется по графику качественного регулирования отопительной нагрузки при минимально допустимой температуре воды в подающей магистрали  $\tau_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 7).

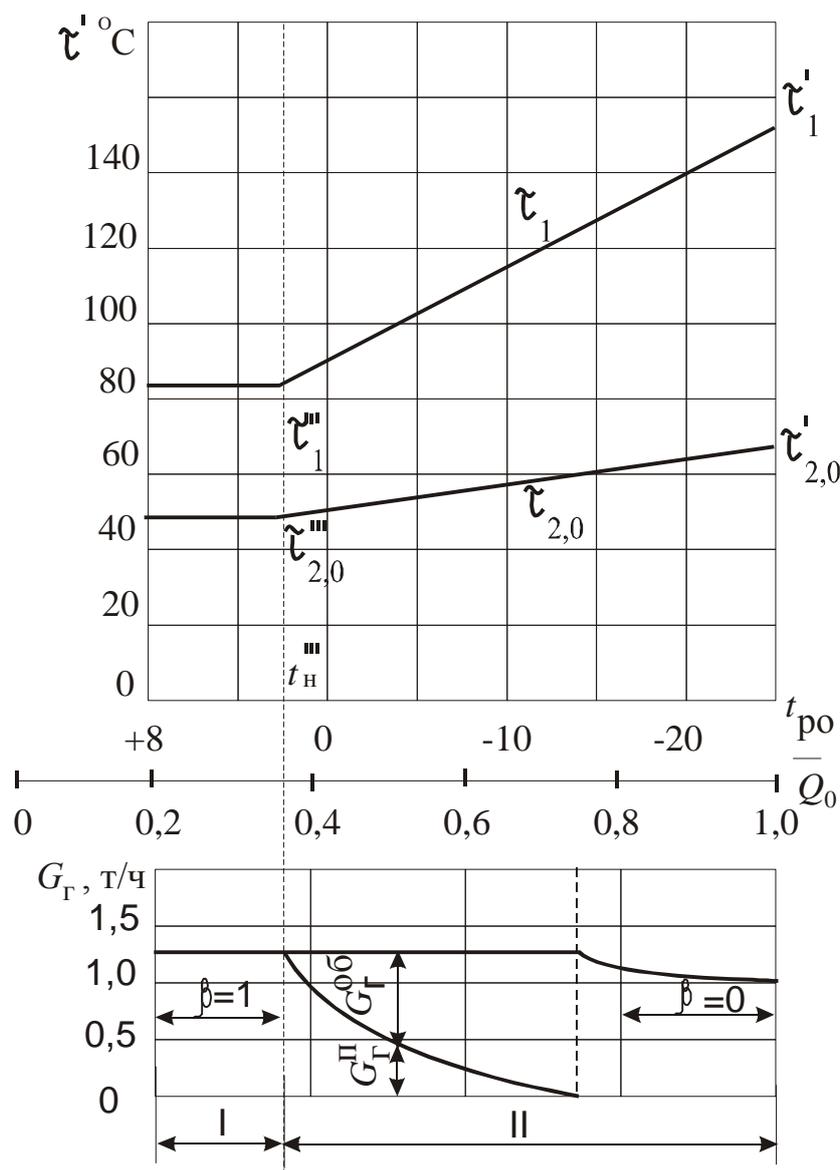


Рис. 7. Графики температур и расхода воды на горячее водоснабжение при центральном качественном регулировании открытых систем по отопительной нагрузке

Расчетный расход воды на горячее водоснабжение определяется по формуле

$$G_{\Gamma} = 3600 \frac{Q_{\Gamma}}{c(t_{\Gamma} - t_x)}, \text{ кг/ч.} \quad (44)$$

Величина водоразбора из подающей линии  $G_{\Gamma}^{\Pi}$  и из обратной  $G_{\Gamma}^{\text{об}}$  равна

$$G_{\Gamma}^{\Pi} = \beta G_{\Gamma}, \text{ т/ч;} \quad (45)$$

$$G_{\Gamma}^{\text{об}} = (1 - \beta) G_{\Gamma}, \text{ т/ч,} \quad (46)$$

где  $\beta$  – доля водоразбора из подающего трубопровода.

Из уравнения теплового баланса узла смешения горячего водоснабжения

$$G_{\Gamma} t_{\Gamma} = G_{\Gamma}^{\Pi} \tau_1 + G_{\Gamma}^{\text{об}} \tau_{2,0}$$

и равенств (45), (47) получим

$$\beta = \frac{t_{\Gamma} - \tau_{2,0}}{\tau_1 - \tau_{2,0}}. \quad (47)$$

В течение отопительного сезона доля водоразбора из подающей магистрали изменяется в пределах  $0 \leq \beta \leq 1$  (рис. 7). В холодный период сезона, при температуре обратной воды  $\tau_{2,0} > 60$  °С, расход воды на ГВС снижается пропорционально отношению  $(t_{\Gamma} - t_x) / (\tau_{2,0} - t_x)$ .

В этом диапазоне расход сетевой воды на горячее водоснабжение равен

$$G_{\Gamma} = 3600 \frac{Q_{\Gamma}}{c(\tau_{2,0} - t_x)}, \text{ кг/ч.} \quad (48)$$

При суммарном среднечасовом расходе тепла на ГВС более 15 % расчетного часового расхода тепла на отопление ( $Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}} / Q_0' > 0,15$ ) регулирование открытых систем производится по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения качественным или качественно-количественным методом.

Центральное качественное регулирование в открытых системах по совместной нагрузке (*скорректированный* температурный график) применяют при соотношении тепловых нагрузок у большинства потребителей в пределах  $0,15 \leq Q_{\text{ср.г}} / Q_0^{\text{п}} \leq 0,3$ . Регуляторы расхода в абонентских узлах ввода устанавливают перед ответвлением на горячее водоснабжение (рис. 8); они поддерживают постоянный расход воды, равный расчетному, на отопление. Водоразбор из подающей линии уменьшает поступление сетевой воды в систему отопления. Небаланс тепла на отопление компенсируется некоторым повышением температуры в подающем трубопроводе по сравнению с отопительным графиком. При этом методе регулирования строительные конструкции здания могут быть

использованы в качестве аккумулятора тепла, выравнивающего неравномерности суточного графика теплопотребления.

Для сохранения суточного баланса тепла на отопление основной расчет проводится по балансовой нагрузке горячего водоснабжения  $Q_{\Gamma}^{\beta} = \chi^{\beta} Q_{\text{ср.}\Gamma}^{\beta}$  с балансовым коэффициентом, равным  $\chi^{\beta} = 1,1$ .

Расход воды на отопление при любой температуре наружного воздуха и балансовой нагрузке горячего водоснабжения определяют из уравнения теплового баланса системы отопления с учетом водоразбора на горячее водоснабжение:

$$Q_0 = (G_0 - \beta G_{\Gamma}) c (\tau_1 - \tau_{2,0}), \text{ кВт}, \quad (49)$$

где  $G_0'$  – расчетный расход воды на отопление, кг/с.

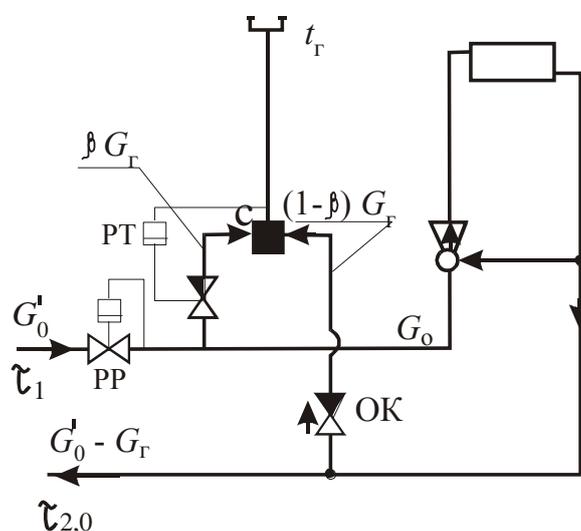


Рис. 8. Схема абонентского ввода в открытых системах теплоснабжения при центральном качественном регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения

Относительный расход воды определяется по формуле

$$\bar{G}_0 = \frac{1 - 0,5\rho^{\beta} \frac{\Theta}{t_{\Gamma} - t_x}}{1 + \frac{t_{\Gamma} - t_B}{t_{\Gamma} - t_x} \frac{\rho^{\beta}}{Q_0} - \frac{\Delta t_0'}{t_{\Gamma} - t_x} \frac{\rho^{\beta}}{Q_0^{0,2}}}, \quad (50)$$

где  $\rho^{\beta} = Q_{\Gamma}^{\beta} / Q_0'$ .

Температуру воды в подающем и обратном трубопроводах определяют по формулам

$$\tau_1 = t_B + \frac{\bar{Q}_0}{\bar{G}_0} \left( \delta\tau_0 + \Delta\tau_0 \frac{\bar{G}_0}{\bar{Q}_0^{0,2}} - 0,5\Theta' \right), \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (51)$$

$$\tau_{2,0} = t_B + \frac{\bar{Q}_0}{\bar{G}_0} \left( \Delta t_0 \frac{\bar{G}_0}{\bar{Q}_0^{0,2}} - 0,5\Theta' \right), \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (52)$$

На рис. 9 показан скорректированный график температур сетевой воды и изменение расхода воды на отопление. При температуре обратной воды  $\tau_{2,0} \geq 60 \text{ } ^\circ\text{C}$  водоразбор осуществляется только из обратной магистрали. На этом диапазоне в систему отопления поступает расчетный расход воды  $\bar{G}_0 = 1$ , вследствие чего скорректированный график соответствует отопительному графику.

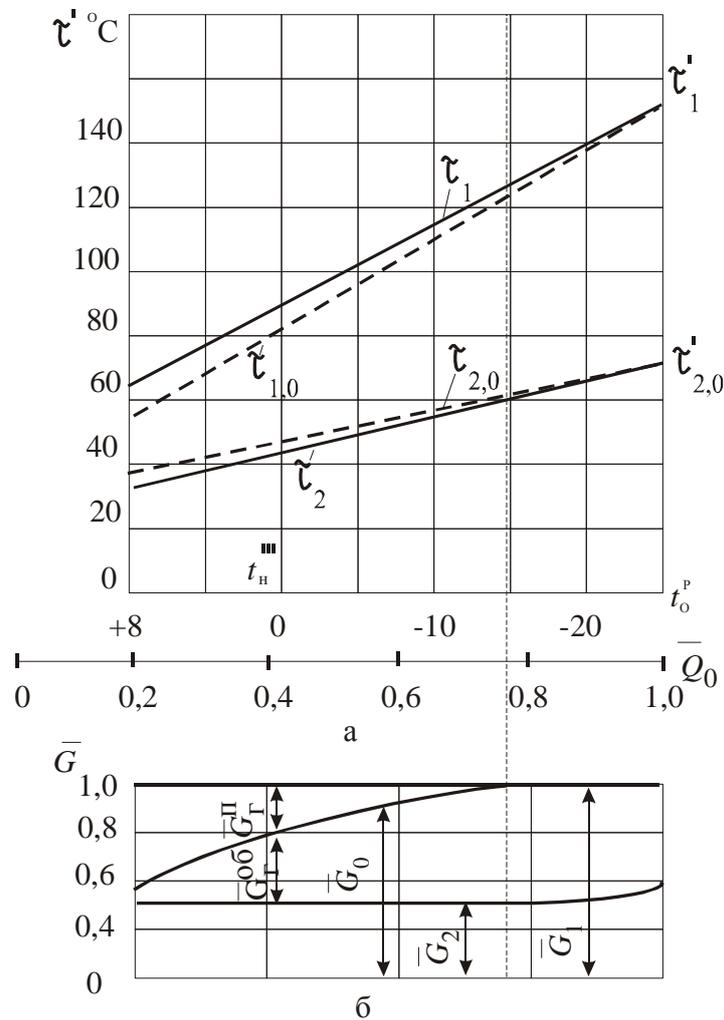


Рис. 9. Графики центрального качественного регулирования открытых систем теплоснабжения по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения: а – скорректированный график температур; б – распределение относительного расхода воды между системами отопления и горячего водоснабжения

На рис. 9 приняты следующие обозначения:  $\bar{G}_1 = G_1 / G'_0$  – относительный расход сетевой воды в подающем трубопроводе;  $\bar{G}_2 = G_2 / G'_0$  – то же в обратном трубопроводе;  $\bar{G}_r^n = G_r^n / G'_0$  – относительный расход сетевой воды на горячее водоснабжение из подающего трубопровода;  $\bar{G}_r^{об} = G_r^o / G'_0$  – относительный расход сетевой воды на горячее водоснабжение из обратного трубопровода.

### **Рекомендуемая литература**

1. Ляликов Б.А. Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий. Часть I: учеб. пособие / Б.А. Ляликов. – 2-е изд., стер. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 155 с.
2. Ляликов Б.А. Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий. Часть II: учеб. пособие / Б.А. Ляликов. – 2-е изд., стер. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 172 с.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. – 9-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2009.