

Оптимизация режимов систем теплоснабжения

Лекции 36ч

Извеков

Александр Владимирович

Практические занятия 18ч

и курсовая работа

Киричков

Владимир Сергеевич

Экзамен

Литература

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 8-е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2006.
2. Извеков А.В., Поливода Ф.А. Энергоснабжение городов и промышленных предприятий: учебное пособие по курсу «Энергоснабжение». – М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
3. Энергосбережение в теплоэнергетике и в теплотехнологиях: учебник для вузов/ О.Л.Данилов, А.Б. Гаряев, И.В.Яковлев и др.; под ред. А.В. Клименко.-М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
4. Расчёты к модернизации теплового пункта в системе централизованного теплоснабжения: учебно-методическое пособие к курсовой работе / А.В. Извеков, Д.В. Чугунков. - М.: Издательство МЭИ, 2016.
5. Свод правил по проектированию тепловых пунктов. СП 41-101-95.

Нерасчётные режимы
теплообменных аппаратов
систем теплоснабжения

Уравнение тепловой характеристики теплообменного аппарата

$$Q = \varepsilon * W_M * \nabla$$

Q-тепловая производительность теплообменного аппарата;

ε -безразмерная удельная тепловая производительность;

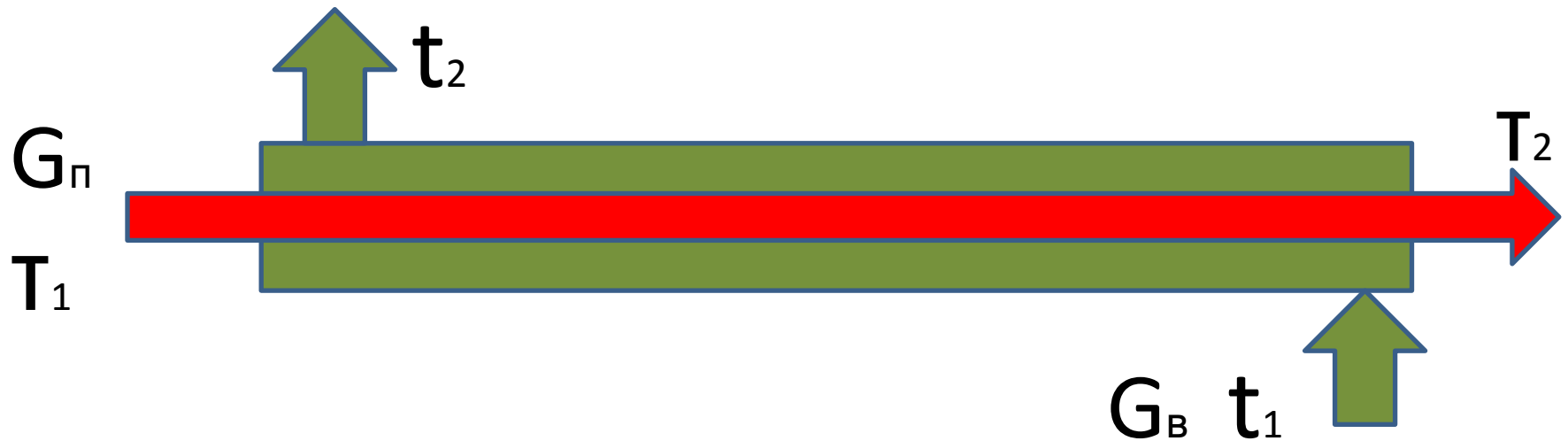
W_M -меньший эквивалент расхода теплоносителя;

∇ -максимальная разность температур теплоносителей.

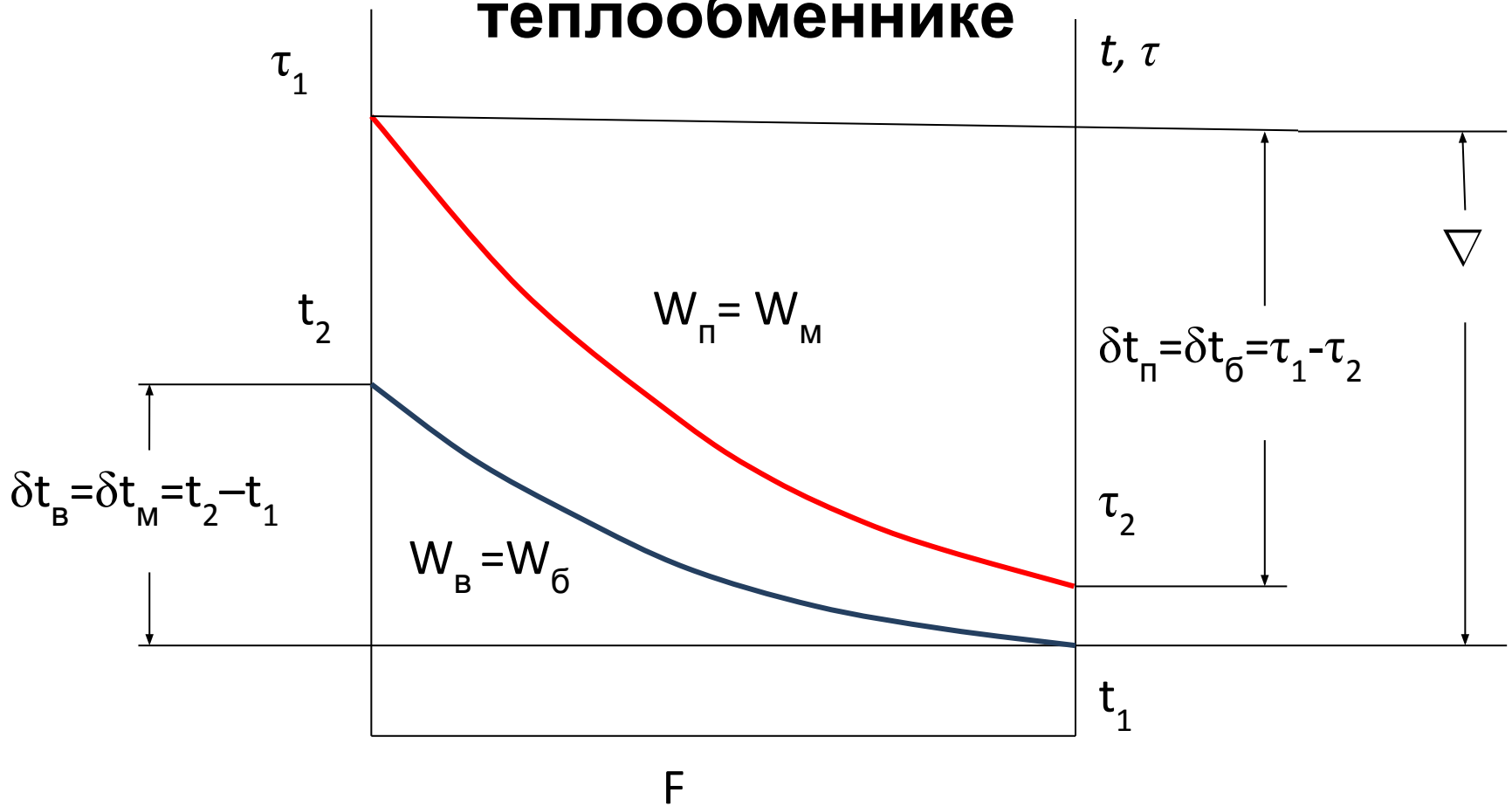
Принципиальная схема водоводяного противоточного теплообменного аппарата

$$Q = G_n (t_1 - t_2) = t_2 (kF_1) t_1 \Delta =$$

$$= W_n \delta t_n = W_b \delta t_b = W_m \delta t_m = W_m \delta t_b$$



Распределение температур теплоносителей в водоводяном противоточном теплообменнике



**Безразмерная
удельная тепловая
производительность или
эффективность теплообменного
аппарата**

$$\varepsilon = \frac{Q}{W_M \Delta T}$$

**Эффективность
противоточного теплообменного аппарата.
Фазовое состояние теплоносителей
неизменно**

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-\frac{kF}{W_M} * \left(1 - \frac{W_M}{W_{\delta}}\right)}}{1 - \frac{W_M}{W_{\delta}} * e^{-\frac{kF}{W_M} * \left(1 - \frac{W_M}{W_{\delta}}\right)}}$$

$$\varepsilon_* = 1$$

Эффективность

прямоточного теплообменного аппарата.

Фазовое состояние теплоносителей

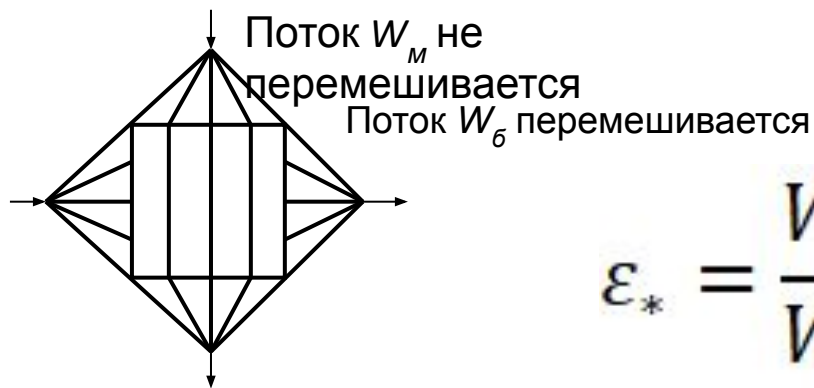
.....

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-\frac{kF}{W_M} * \left(1 + \frac{W_M}{W_6}\right)}}{1 + \frac{W_M}{W_6}}$$

$$\varepsilon_* = \frac{1}{1 + \frac{W_M}{W_6}}$$

Эффективность теплообменного аппарата с перекрёстным движением теплоносителей. Фазовое состояние теплоносителей неизменно

$$\varepsilon = \frac{W_{\delta}}{W_M} * \left(1 - e^{-\frac{W_M}{W_{\delta}} * \left(1 - e^{-\frac{kF}{W_M}} \right)} \right)$$



$$\varepsilon_* = \frac{W_{\delta}}{W_M} \left(1 - e^{-\frac{W_M}{W_{\delta}}} \right) \approx \frac{1}{1 + \frac{W_M}{W_{\delta}}}$$

**Эффективность
теплообменного аппарата при изменении
фазового состояния одного из**

$$\varepsilon = 1 - e^{-\frac{kF}{W_M}}$$

**При изменении
фазового состояния обоих**

$$Q = kF\Delta\bar{T}$$

**Уравнения для расчёта
эффективности различны для
теплообменных аппаратов с
различными схемами движения
теплоносителей, потому что
средний температурный напор
определяется по-разному для
разных схем движения
теплоносителей.**

Эмпирическое уравнение для расчёта среднего температурного напора

$$\Delta t = \nabla - a\delta t_M - b\delta t_6$$

Схема движения теплоносителей	<i>a</i>	<i>b</i>
Противоток	0,35	0,65
Прямоток	0,65	0,65
Перекрёстный ток	0,425-0,55	0,65

**Эффективность теплообменного
аппарата
при всех схемах течения
теплоносителей
по Е.Я. Фоколову**

$$\varepsilon = \frac{W_m}{a * \frac{W_m}{W_\delta} + b + \frac{W_m}{kF}} \leq \varepsilon_* ;$$

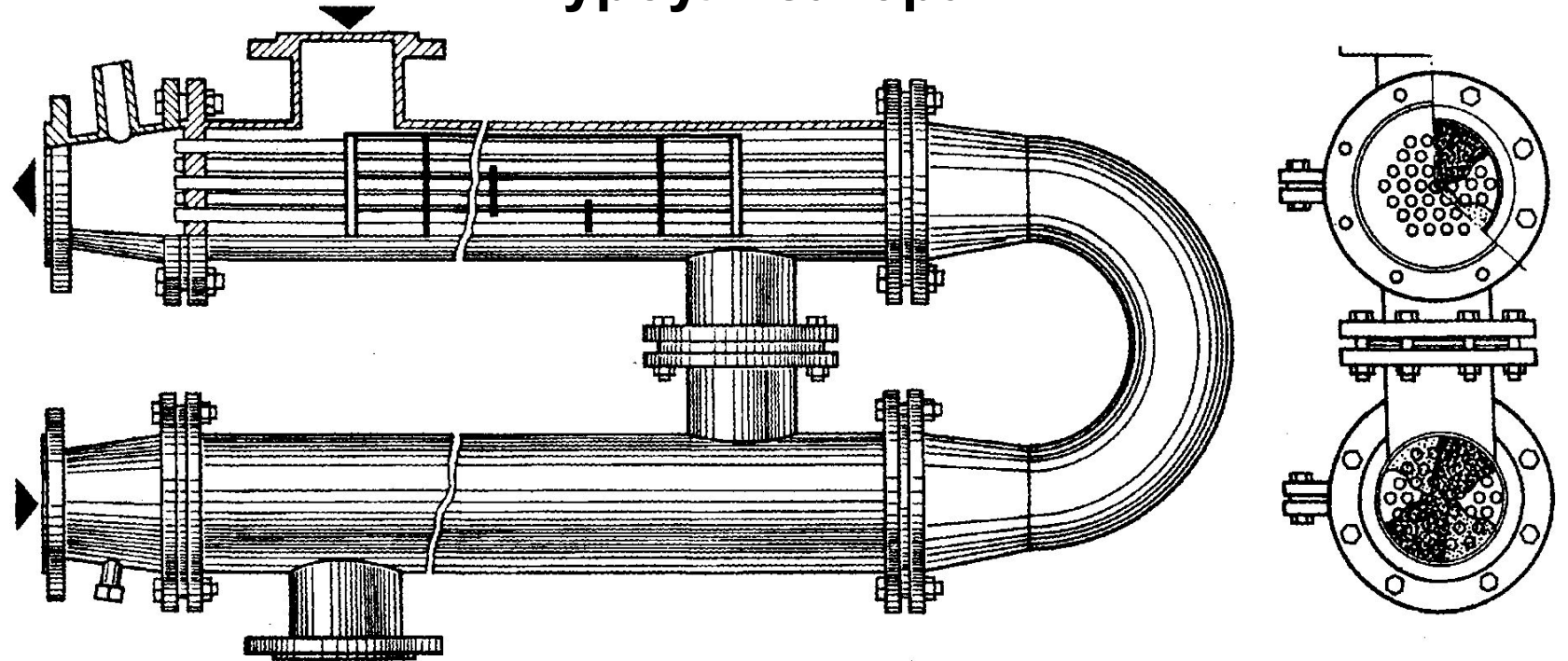
Учёт изменения коэффициента теплопередачи в теплообменниках при изменении режима работы по сравнению с основным (расчётным или проверенным экспериментально) по Е.Я.

$$\frac{k}{k_{ос}} = \left(\frac{W_{\Pi}}{W_{\Pi}^{ос}} \right)^{m_1} \left(\frac{W_{В}}{W_{В}^{ос}} \right)^{m_2}$$

Теплоноситель и	m₁	m₂
Вода-вода	0,33-0,5	0,33-0,5
Пар-вода	0	0,33-0,5
Вода-воздух	0,12-0,20	0,33-0,5

Нерасчётные режимы противоточных водоводяных теплообменников

Общий вид горизонтального секционного кожухотрубного водоподогревателя с опорами--турбулизаторами



Профильная трубка



Схема движения теплоносителя в межтрубном пространстве подогревателя с опорами-турбулизаторами



Существующий подогреватель после 6 лет эксплуатации с опорами в виде поток

Эффективность противоточного теплообменного аппарата

$$\varepsilon = \frac{1}{0,35 \frac{W_N}{W_6} + 0,65 + \frac{W_N}{kF}} \leq 1$$

$$kF = \frac{kF_{oc}}{\sqrt{W_{\Pi}^{oc} W_{B}^{oc}}} * \sqrt{W_{\Pi} W_{B}} = \Phi \sqrt{W_{\Pi} W_{B}}$$

**Φ – параметр теплообменника,
определяемый в основном
режиме**

$$\Phi = \frac{kF_{oc}}{\sqrt{W_{\Pi}^{oc} W_{B}^{oc}}} = \frac{\sqrt{\delta t_{\Pi}^{oc} \delta t_{B}^{oc}}}{\Delta t_{oc}}$$

**Эффективность
противоточного теплообменного
аппарата с учётом изменения
коэффициента теплопередачи**

$$\varepsilon = \frac{1}{0,35 \frac{W_M}{W_6} + 0,65 + \frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{W_M}{W_6}}} \leq 1$$

**Тепловая характеристика
противоточного теплообменного
аппарата
с учётом изменения
коэффициента теплопередачи**

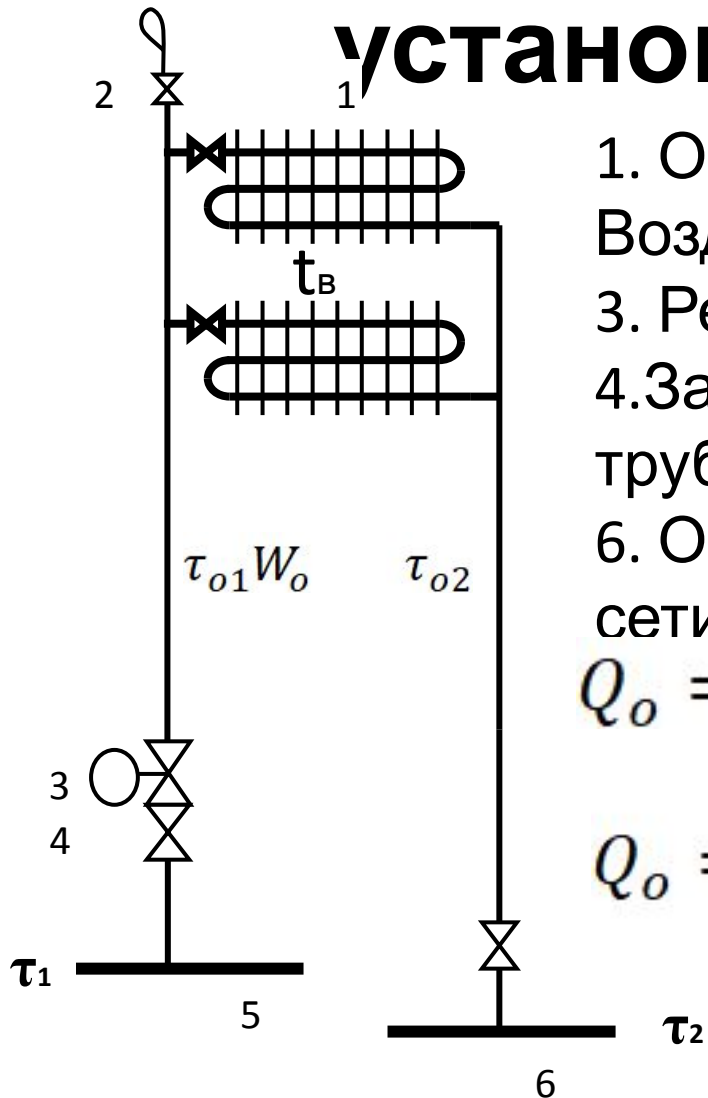
$$Q = \frac{W_M \nabla}{0,35 \frac{W_M}{W_6} + 0,65 + \frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{W_M}{W_6}}}$$

**Нерасчётные
режимы
отопительных
установок**

Уравнение тепловой характеристики отопительной установки

$$Q_o = \varepsilon W_M \nabla = \varepsilon_o W_{oc} (\tau_1 - t_B)$$

Непосредственное зависимое присоединение отопительной установки к тепловой сети



1. Отопительный прибор .2.
Воздушник.

3. Регулирующий клапан.

4. Запорная арматура. 5. Подающий
трубопровод тепловой сети.

6. Обратный трубопровод тепловой
сети.

$$Q_o = W_o(\tau_{o1} - \tau_{o2}) = W_{oc}(\tau_1 - \tau_{o2})$$

$$Q_o = k_o F_o \Delta t_o = k_o F_o \left(\frac{\tau_{o1} + \tau_{o2}}{2} - t_B \right)$$

**Эффективность отопительной установки
при непосредственном зависимом присоединении
к тепловой сети**

$$\varepsilon_o = \frac{1}{0,5 + \frac{W_o}{k_o F_o}} \leq 1$$

**Уравнение тепловой характеристики отопительной
установки
при непосредственном зависимом присоединении**

$$Q_o = \frac{W_o (\tau_{o1} - t_B)}{0,5 + \frac{W_o}{k_o F_o}}$$

Непосредственное зависимое присоединение отопительной установки к тепловой сети

Расчётный режим при температуре наружного воздуха,
расчётной для проектирования отопления

$$t_{\text{H}} = t_{\text{HO}}$$

$$Q'_0 = W'_0(\tau'_{o1} - \tau'_{o2}) = W'_0\theta' = k'_0 F_o \Delta t'_o$$

$$\frac{Q_o}{Q'_0} = \bar{Q}_o \quad \frac{W_o}{W'_0} = \bar{W}_o \quad \frac{k_o}{k'_0} = \frac{\bar{Q}_o^{\frac{n}{n+1}}}{\bar{W}_o}$$

Уравнение тепловой характеристики отопительной установки

при непосредственном зависимом присоединении к тепловой сети

С учётом

$$\frac{k_o}{k'_o} = \frac{\bar{Q}_o^{\frac{n+1}{n}}}{\bar{W}_o} \quad \text{и} \quad n = 0,25$$

$$\bar{Q}_o = \frac{\tau_{o1} - t_B}{0,5 \frac{\theta'}{\bar{W}_o} + \frac{\Delta t'_o}{\bar{Q}_o^{0,2}}} \quad \bar{W}_o = \frac{0,5\theta'}{\frac{\tau_{o1} - t_B}{\bar{Q}_o} - \frac{\Delta t'_o}{\bar{Q}_o^{0,2}}}$$

**Уравнение тепловой характеристики отопительной
установки
при непосредственном зависимом присоединении
к тепловой сети**

С учётом

$$\bar{Q}_o = \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{HO}}$$

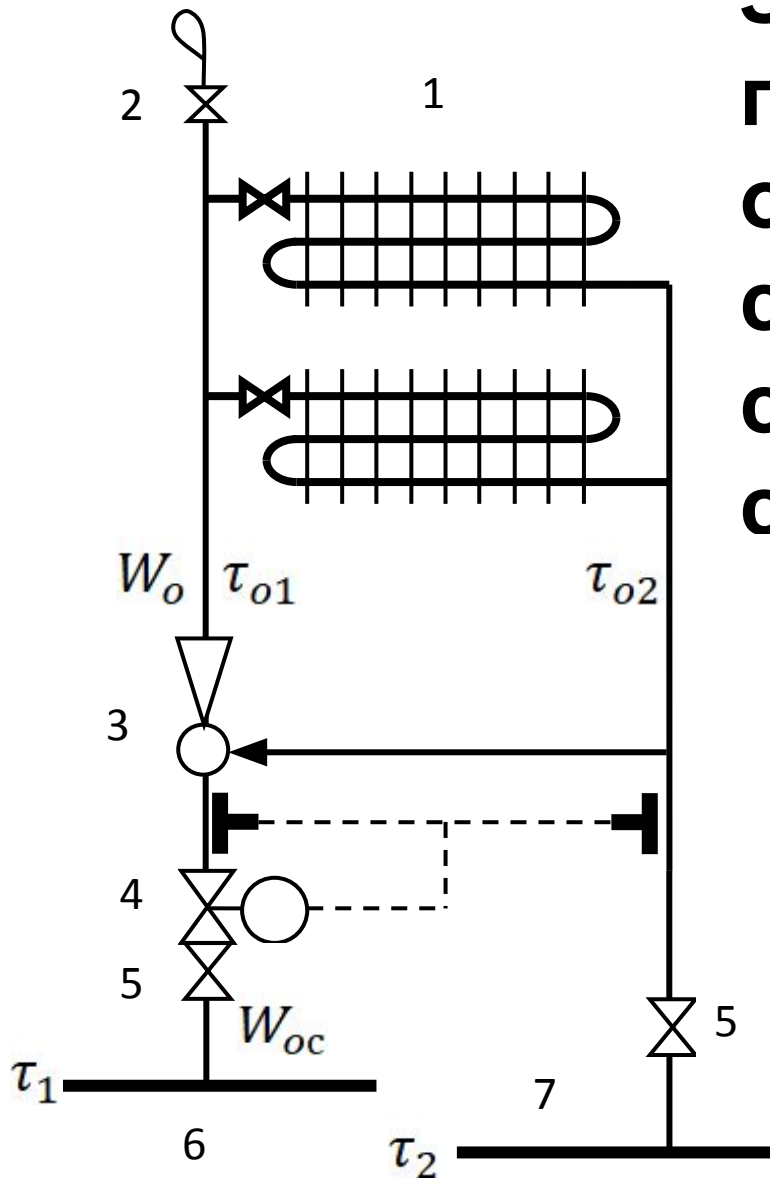
и

$$\Delta t_p = t_{Bp} - t_{HO}$$

$$\bar{Q}_o = \frac{\tau_{o1} - t_H}{0,5 \frac{\theta'}{\bar{W}_o} + \frac{\Delta t'_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} + \Delta t_p}$$

$$\bar{W}_o = \frac{0,5\theta'}{\frac{\tau_{o1} - t_H}{\bar{Q}_o} - \frac{\Delta t'_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} - \Delta t_p}$$

Зависимое присоединение отопительной установки с элеваторным смещением к тепловой сети



1. Отопительный прибор.
2. Воздушник.
3. Элеватор.
4. Регулирующий клапан.
5. Запорная арматура.
6. Подающий трубопровод тепловой сети.
7. Обратный трубопровод тепловой сети.

$$Q_o = W_o(\tau_{o1} - \tau_{o2}) = W_{oc}(\tau_1 - \tau_{o2})$$

Зависимое присоединение отопительной установки с элеваторным смешением к

Эффективность отопительной установки **тепловой сети**

$$\varepsilon_o = \frac{1}{\frac{0,5 + u}{1 + u} + \frac{W_{oc}}{k_o F_o}} \leq 1$$

Коэффициент смешения

$$u = \frac{W_o - W_{oc}}{W_{oc}} = \frac{\tau'_1 - \tau'_{o1}}{\tau'_{o1} - \tau'_{o2}} = \frac{\delta\tau'}{\theta'} - 1 \cong const$$

$$\delta\tau = \tau'_1 - \tau'_2$$

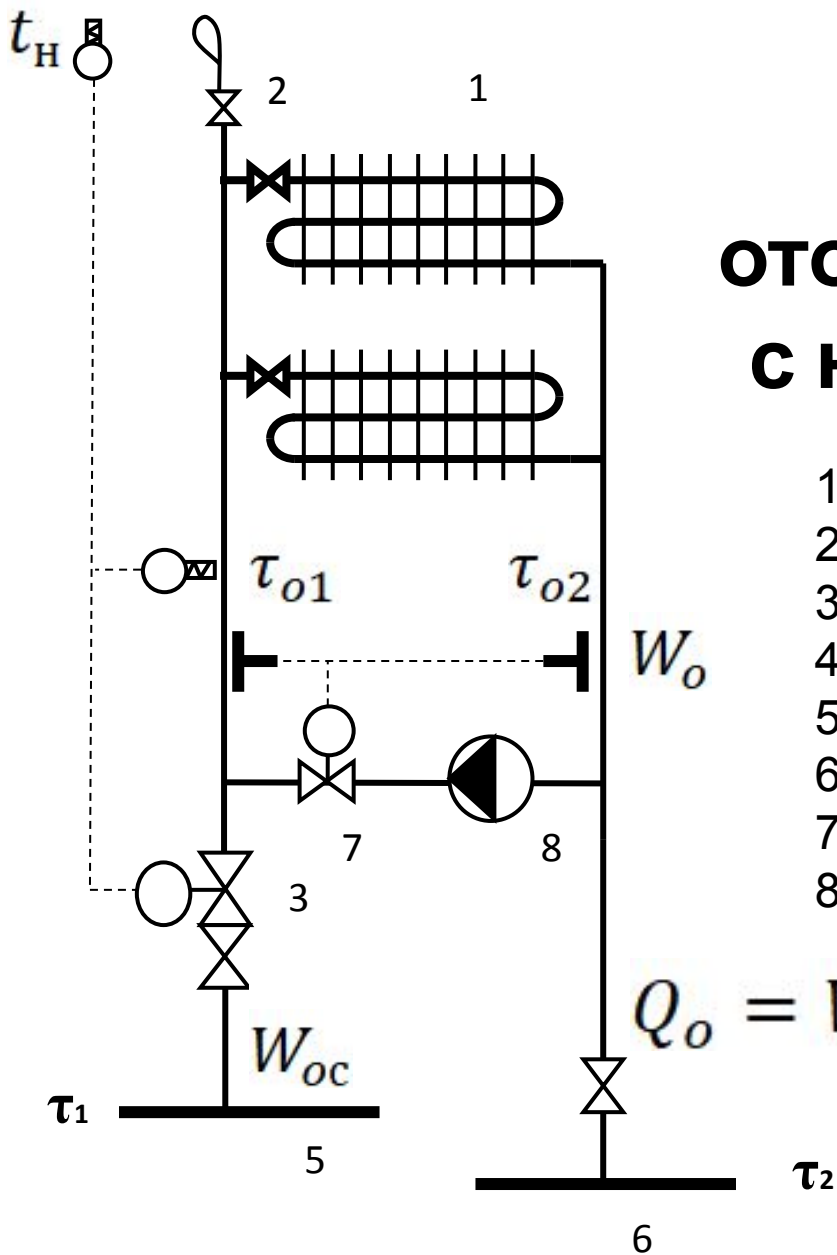
Зависимое присоединение отопительной установки с элеваторным смешением

Уравнение к тепловой сети характеристики

$$\bar{Q}_o = \frac{\tau_1 - t_B}{\frac{\delta\tau' - \frac{\theta'}{2}}{\bar{W}_{oc}} + \frac{\Delta t'_o}{\bar{Q}_o^{0,2}}}$$

$$\bar{Q}_o = \frac{\tau_1 - t_H}{\frac{\delta\tau' - \frac{\theta'}{2}}{\bar{W}_{oc}} + \frac{\Delta t'_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} + \Delta t_p}$$

Зависимое присоединение отопительной установки с насосным смешением к тепловой сети



1. Отопительный прибор.
2. Воздушник.
3. Регулятор температуры.
4. Запорная арматура.
5. Подающий трубопровод тепловой сети.
6. Обратный трубопровод тепловой сети.
7. Регулятор перепада давления.
8. Смесительный насос.

$$Q_o = W_o (\tau_{o1} - \tau_{o2}) = W_{oc} (\tau_1 - \tau_{o2})$$

Зависимое присоединение отопительной установки с насосным смещением к тепловой сети

Уравнение тепловой

хара

$$\bar{W}_o = \frac{W_o}{W_o'} = const \quad \bar{Q}_o = \frac{\tau_1 - t_B}{\frac{\delta\tau'}{\bar{W}_{oc}} - \frac{\theta'}{2} + \frac{\Delta t_o'}{\bar{Q}_o^{0,2}}}$$

$$u = var \quad \bar{W}_{oc} = \frac{\delta\tau'}{\frac{\tau_1 - t_B}{\bar{Q}_o} + \frac{\theta'}{2} - \frac{\Delta t_o'}{\bar{Q}_o^{0,2}}}$$

Зависимое присоединение отопительной установки с насосным смещением к тепловой сети

Уравнение тепловой

характеристики

С учётом

$$\bar{Q}_o = \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{HO}}$$

$$\bar{Q}_o = \frac{\tau_1 - t_H}{\frac{\delta\tau'}{\bar{W}_{oc}} - \frac{\theta'}{2} + \frac{\Delta t'_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} + \Delta t_p}$$

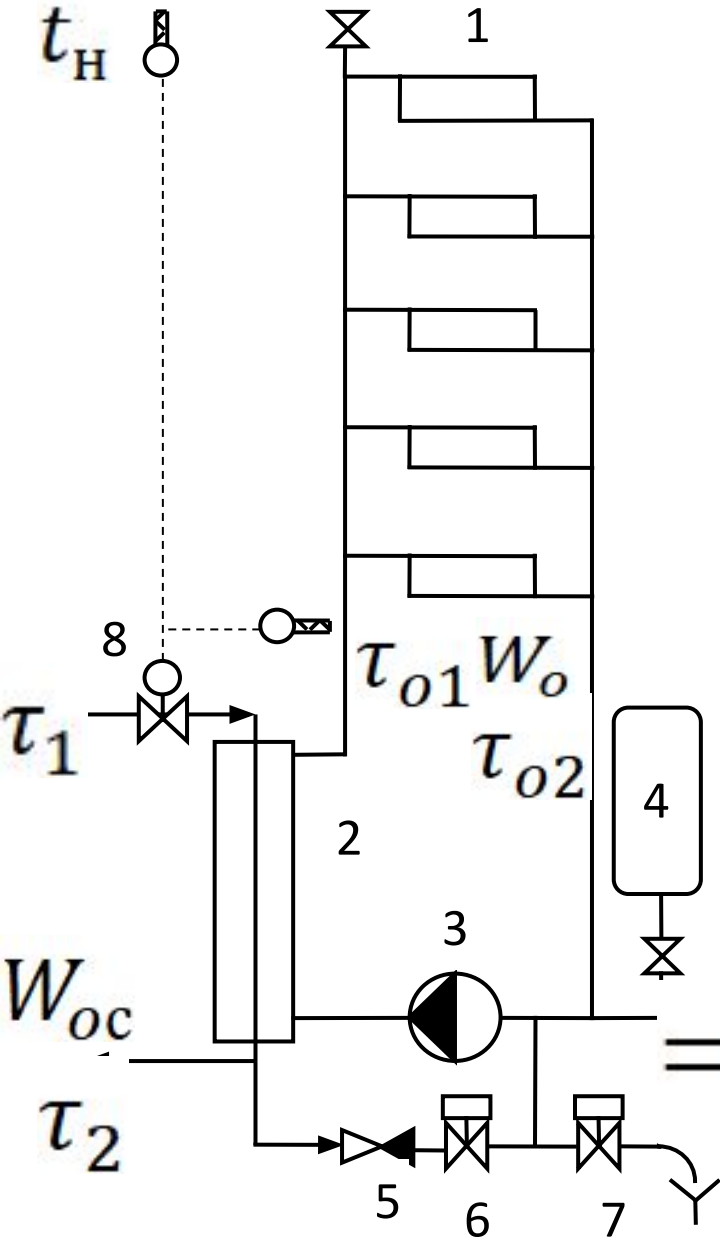
$$\bar{W}_{oc} = \frac{\delta\tau'}{\frac{\tau_1 - t_B}{\bar{Q}_o} + \frac{\theta'}{2} - \frac{\Delta t'_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} - \Delta t_p}$$

Независимое присоединение отопительной установки к водяной тепловой сети

1. Отопительные приборы. 2. Теплообменник системы отопления. 3. Циркуляционный насос.

4. Расширительный бак. 5. Обратный клапан. 6. Клапан подпитки системы отопления.

7. Сбросной клапан. 8. Регулятор температуры



$$Q_o = W_{oc}(\tau_1 - \tau_2) =$$
$$= kF\Delta t = W_o(\tau_{o1} - \tau_{o2})$$

**Независимое
присоединение
отопительно
й установки к
водяной
тепловой
сети**

Уравнение
тепловой
характеристики

$$\bar{Q}_o = \frac{\tau_1 - t_B}{\frac{\delta\tau'}{\varepsilon_T \bar{W}_{oc}} - \frac{\theta'}{2\bar{W}_o} + \frac{\Delta t'_o}{\bar{Q}_o^{0,2}}}$$

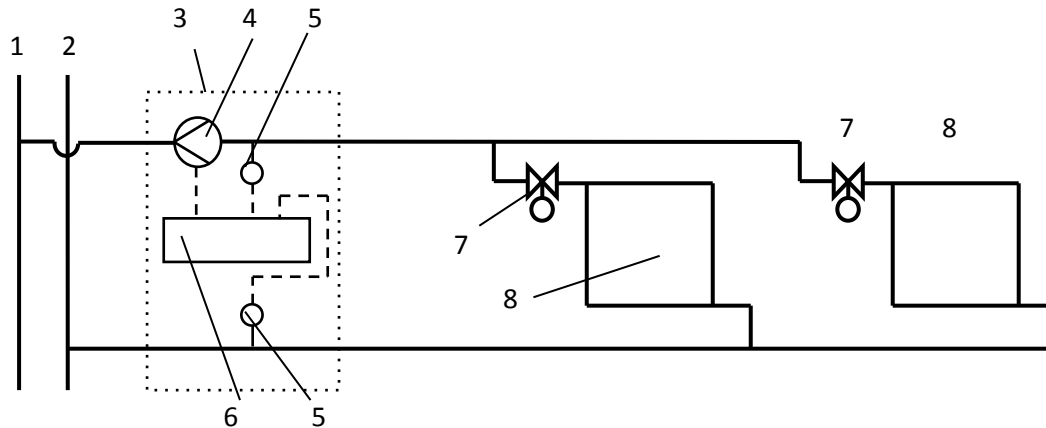
$$\bar{Q}_o = \frac{\delta\tau'}{\varepsilon_T \bar{W}_{oc}} - \frac{\theta'}{2\bar{W}_o} + \frac{\Delta t'_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} + \Delta t_p$$

$$\varepsilon_T = \frac{1}{0,35 \frac{W_{oc}}{W_o} + 0,65 + \frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{W_{oc}}{W_o}}} \leq 1$$

$$\Phi = \frac{k' F}{\sqrt{W_{oc}' W_o'}} = \frac{\sqrt{\delta\tau' \theta'}}{\Delta t'}$$

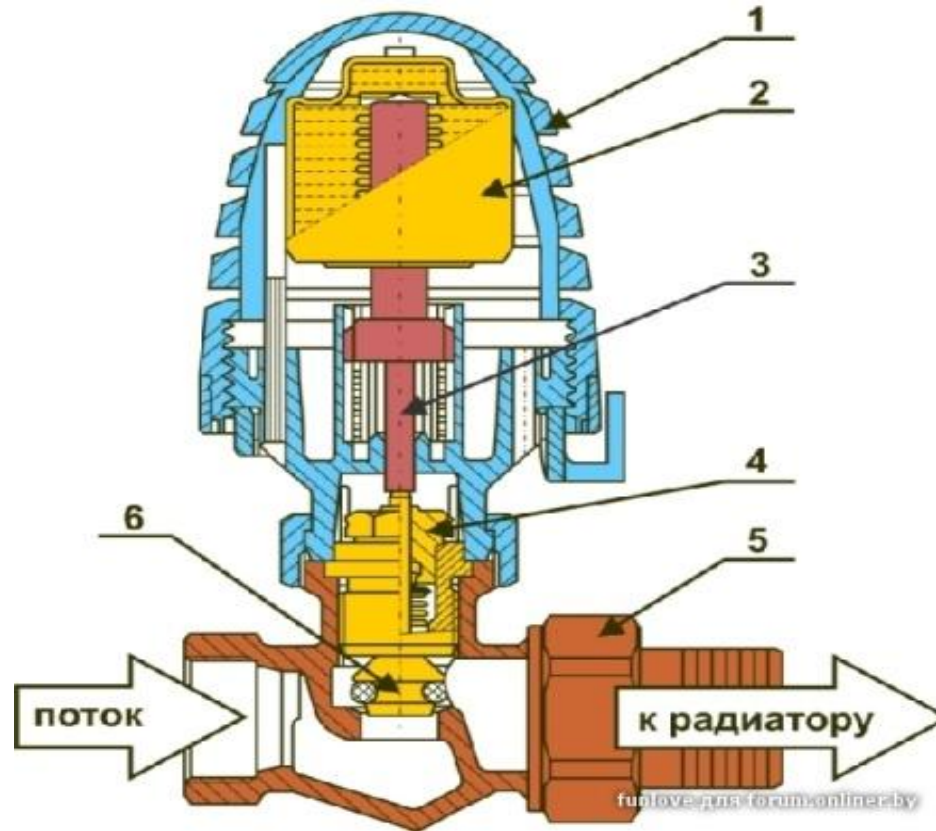
Индивидуальное регулирование отопления

Принципиальная схема отопительной системы квартиры с термостатическими клапанами у отопительных приборов и теплосчётчиком.



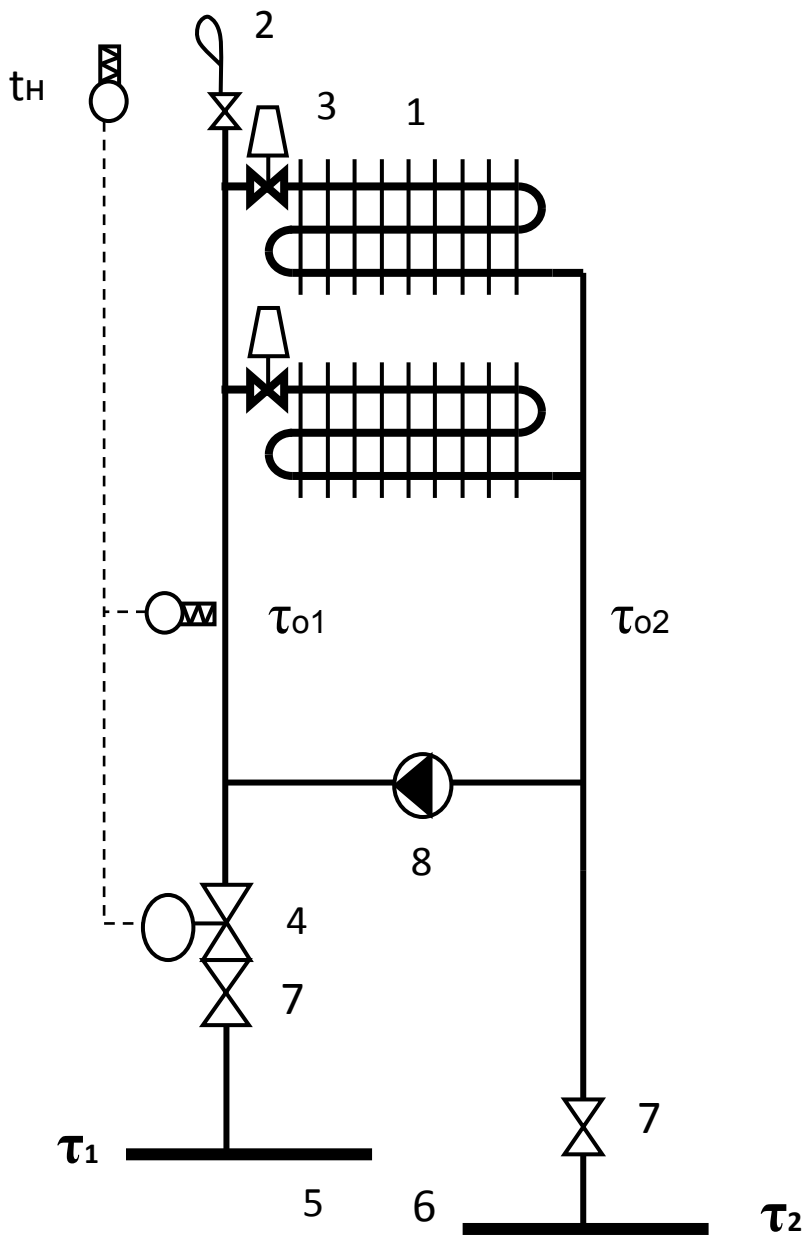
- 1. Подающий стояк. 2. Обратный стояк. 3. Теплосчётчик.
4. Расходомер-счётчик воды. 5. Датчик температуры.
6. Тепловычислитель.
7. Термостатический клапан. 8. Отопительный прибор.*

Термостатический клапан.



1. Головка.
2. Сильфон.
3. Шток.
4. Устройство для ручного регулирования.
5. Накладная гайка.
6. Клапан.

Зависимое присоединение к тепловой сети отопительной установки с насосным смешением и с индивидуальным регулированием отопления



1. Отопительный прибор.
2. Воздушник.
3. Термостатический регулирующий клапан.
4. Регулятор температуры на ИТП.
5. Подающий трубопровод тепловой сети.
6. Обратный трубопровод тепловой сети.
7. Запорная арматура.
8. Смесительный насос.

$$Q_o = W_o(\tau_{o1} - \tau_{o2}) = W_{oc}(\tau_1 - \tau_{o2})$$

Уравнение тепловой характеристики отопительной установки с насосным смешением

и с индивидуальным регулированием

$$Q_o = \frac{\tau_{o1} - t_B}{0,5 \frac{\theta}{\bar{W}_o} + \frac{\Delta t_o'}{\bar{Q}_o^{0,2}}} \quad \text{отопления}$$

$$\bar{W}_o = \frac{0,5\theta'}{\frac{\tau_{o1} - t_B}{\bar{Q}_o} - \frac{\Delta t_o'}{\bar{Q}_o^{0,2}}}$$

$$\bar{W}_{oc} = \frac{W_{oc}}{W'_{oc}} = \frac{\delta\tau'}{\frac{\tau_1 - \tau_{o1}}{\bar{Q}_o} + \frac{\vartheta'}{\bar{W}_o}}$$

**Спасибо за
внимание!**