

## Лекция №7

### 7. РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ

#### 7.1. Задачи и методы регулирования

Системы теплоснабжения представляют собой взаимосвязанный комплекс, включающий тепловые источники (ТЭЦ, котельные), систему транспорта тепловой энергии (тепловые сети), потребителей тепла (абонентов).

Тепловая нагрузка абонентов не постоянна. Сезонные нагрузки - отопительная и вентиляционная - изменяются в зависимости от метеорологических условий (температуры наружного воздуха, ветра, инсоляции). Круглогодичные нагрузки – горячего водоснабжения и технологическая - зависят соответственно от режима расхода воды на горячее водоснабжение и режима работы технологического оборудования.

В этих условиях необходимо искусственное изменение параметров и расхода теплоносителя в соответствии с фактической потребностью абонентов. Для обеспечения высокого качества теплоснабжения, а также экономичных режимов выработки теплоты на станции и транспортировки ее по тепловым сетям выбирается соответствующий метод регулирования.

Задачи регулирования тепловой нагрузки заключаются в следующем:

1. Обеспечить надежность теплоснабжения в соответствии с графиком тепловой нагрузки и температурным графиком сетевой воды.
2. Обеспечить требуемые параметры сетевой воды (температуры и давления).
3. Обеспечить требуемый расход сетевой воды.

В зависимости от места осуществления различают следующие виды регулирования:

1. Центральное регулирование .
2. Групповое регулирование .
3. Местное регулирование .
4. Индивидуальное регулирование .
5. Комбинированное регулирование .

В системах теплоснабжения применяется, как правило, центральное и местное регулирование. При этом центральное - основное.

Сущность методов регулирования вытекает из уравнений теплового баланса и теплопередачи

$$Q = G c (\tau_1 - \tau_2) n = k F \Delta t n \quad , \text{кДж (ккал)}, \quad (7.1)$$

где  $Q$  – количество тепла, полученное от теплоносителя и отданное нагреваемой среде, кДж (ккал);

$G$  – расход теплоносителя, кг/ч;

$c$  - теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг К);

$\tau_1, \tau_2$  - температура теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, К;

$n$  – время, ч;

$k$  – коэффициент теплопередачи, кВт/(м<sup>2</sup> К) (ккал/(ч м<sup>2</sup> К));

$F$  – поверхность нагрева теплообменника, м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  – температурный напор между греющей и нагреваемой средой, К.

Из уравнения следует, что регулирование тепловой нагрузки возможно несколькими методами:

- изменением температуры теплоносителя  $t = \text{var}$  – *качественный* метод;
- изменением расхода теплоносителя  $G = \text{var}$  – *количественный* метод;
- периодическим отключением систем – *прерывистое* регулирование;
- изменением поверхности нагрева теплообменника.

Применяются три метода центрального регулирования:

1. Качественный метод .
2. Количественный метод .
3. Качественно-количественный метод .

Основным видом регулирования в системах теплоснабжения является центральное качественное регулирование. Количественное используется в качестве местного регулирования.

Регулирование отпуска тепла в двухтрубных тепловых сетях может осуществляться двумя способами.

1. Центральное качественное регулирование по *отопительной* нагрузке .
2. Центральное качественное регулирование по *совмещенной* нагрузке (отопление и ГВС) :

Регулирование отпуска тепла в четырехтрубных тепловых сетях – центральное качественное по отопительной нагрузке.

## 7.2. Общее уравнение регулирования

Расчет режимов регулирования основан на уравнениях теплового баланса, составленных для любого вида нагрузки при нерасчетных и расчетных условиях:

$$Q = G_n c (\tau_1 - \tau_2) = G_v c (t_1 - t_2) = k F \Delta t, \text{ кВт} \quad (7.2)$$

$$Q' = G'_n c (\tau'_1 - \tau'_2) = G'_v c (t'_1 - t'_2) = k' F \Delta t', \text{ кВт} \quad (7.3)$$

где  $Q$  - текущая тепловая нагрузка;

$G_n$  - расход первичного (греющего) теплоносителя;

$G_v$  - расход вторичной (нагреваемой) среды;

$\tau_1, \tau_2$  - температура первичного теплоносителя на входе и выходе из теплообменника;

$t_2, t_1$  - соответственно, температура нагреваемой среды на входе в теплообменник и на выходе из него.

Индексом штрих обозначены все величины, относящиеся к расчетным условиям.

Из отношения равенств (7.2) и (7.3) получим общее уравнение регулирования

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{G_{\Pi}(\tau_1 - \tau_2)}{G'_{\Pi}(\tau'_1 - \tau'_2)} = \frac{G_{\text{В}}(t_1 - t_2)}{G'_{\text{В}}(t'_1 - t'_2)} = \frac{\kappa \Delta t}{\kappa' \Delta t'} \quad (7.4)$$

Уравнение теплового баланса может быть представлено в виде

$$Q = W_{\delta} \delta t_m = W_m W_{\delta} = \kappa F \Delta t, \quad \text{кВт}, \quad (7.5)$$

где  $W_{\delta}$ ,  $W_m$  - большие и меньшие значения водяных эквивалентов теплообменивающихся сред Вт/°С (ккал/(ч °С));

$\delta t_m$ ,  $\delta t_{\delta}$  - соответственно меньший и больший перепады температур теплоносителей, °С.

Для первичного теплоносителя в данном случае  $\delta t = \tau_1 - \tau_2$ , для вторичной среды  $\delta t = t_1 - t_2$ , °С.

С учетом выражения (7.5) уравнение регулирования (7.4) может быть записано в общем виде

$$\bar{Q} = \bar{W}_{\delta} \bar{\delta t}_m = \bar{W}_m \bar{\delta t}_{\delta} = \bar{\kappa} \bar{\Delta t} \quad (7.6)$$

где

$$\bar{Q} = Q / Q', \quad \bar{W} = W / W', \quad \bar{\delta t} = \delta t / \delta t', \quad \bar{\kappa} = \kappa / \kappa',$$

$\bar{\Delta t} = \Delta t / \Delta t'$  - относительные величины соответственно тепловой нагрузки, водяных эквивалентов, перепадов температур греющей и нагреваемой среды, коэффициента теплопередачи, температурного напора, представляющие собой долю от расчетного их значения.

Зависимость расхода или эквивалента расхода сетевой воды от тепловой нагрузки описывается эмпирическим уравнением

$$\bar{W} = \bar{Q}^m, \quad (7.7)$$

где  $m$  - показатель степени, зависящий от метода регулирования.

При качественном методе  $m = 0$ ,  $\bar{W} = 1$ , при качественно-количественном  $0 < m < 1$ .

### 7.3. Тепловые характеристики теплообменных аппаратов

Регулирование тепловой нагрузки приводит к изменению расхода и температуры теплоносителя в теплообменных аппаратах. Расчет режимов регулирования на основании общего уравнения (7.4) или (7.6) в ряде случаев

затруднителен. Неизвестные значения температуры воды приходится определять методом последовательных приближений.

Расчеты упрощаются при использовании тепловых характеристик теплообменных аппаратов, предложенных профессором Е.Я. Соколовым.

Уравнение характеристики теплообменного аппарата из общего уравнения регулирования при замене среднелогарифмической разности температур линейной зависимостью вида

$$\Delta t = v - a \delta t_m - b \delta t_b, \quad ^\circ\text{C} \quad (7.8)$$

где  $v = \tau_1 - t_2$ , - максимальная разность температур греющей и нагреваемой среды на входе в теплообменник;

$a$  и  $b$  - постоянные коэффициенты, зависящие от схемы движения теплоносителя в теплообменном аппарате (при прямотоке принимается  $a = b = 0,65$ , при противоточном движении  $a = 0,35$ ,  $b = 0,65$ );

$\delta t_m$ ,  $\delta t_b$  - наименьший и наибольший перепады температур греющей и нагреваемой среды (рис. 7.1.)

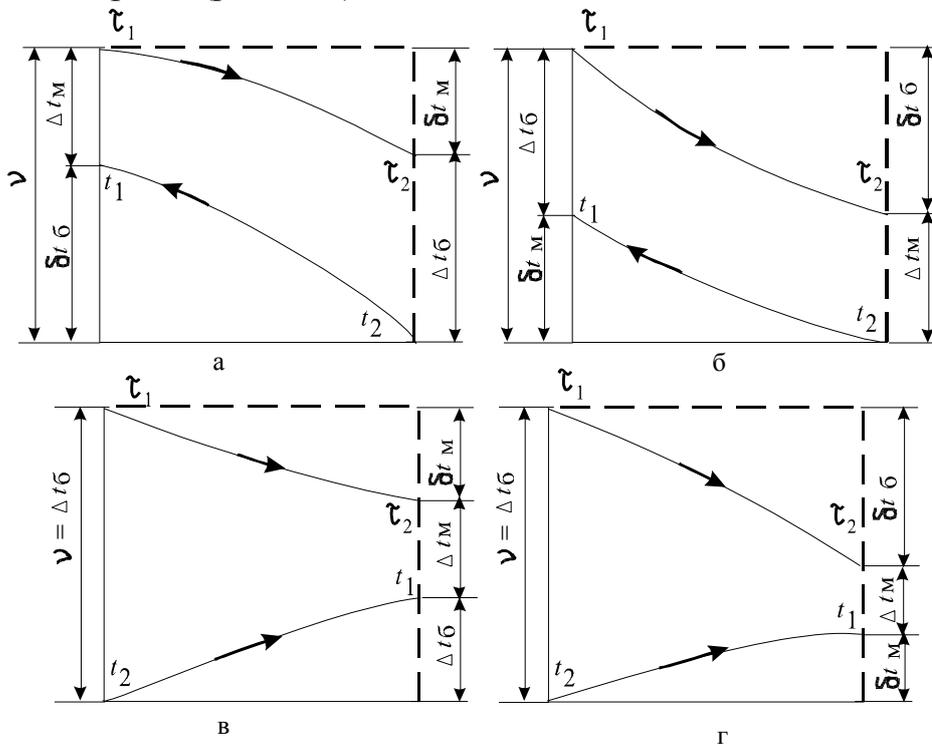


Рис.7.1. Изменение температур теплоносителей в противоточных и прямоточных аппаратах:

$a$  - при соотношении  $W_n/W_e > 1$ ;  $b$  - то же,  $W_n/W_e < 1$ ,  $W_n$  - водяной эквивалент первичного (греющего) теплоносителя;  $W_e$  - водяной эквивалент вторичного (нагреваемого) теплоносителя

Как показывают исследования, замена среднелогарифмической разности температур линейной зависимостью (7.8) дает расхождение в результатах расчетов не более 4 – 6 %, что не выходит за допустимые пределы точности инженерных расчетов.

Если теплопроизводительность теплообменника  $Q$  отнести к максимальной разности температур  $v$ , то уравнение характеристики может быть представлено в виде

$$q = \frac{Q}{v}, \quad \text{кВт/}^\circ\text{С}, \quad (7.9)$$

где  $q$  - тепловая производительность аппарата на  $1^\circ\text{С}$  максимальной разности температур греющей и нагреваемой среды на входе в теплообменник, кВт/°С.

Из уравнений (7.9), (7.8) и (7.5) получим

$$q = \frac{Q}{v} = \frac{Q}{\alpha \cdot \delta \cdot t_m + b \cdot \delta \cdot t_{\delta} + \Delta t} = \frac{Q}{\frac{\alpha}{W_{\delta}} + \frac{b}{W_m} + \frac{1}{k \cdot F}}, \quad \text{кВт/}^\circ\text{С}. \quad (7.10)$$

Для противотока уравнение (7.10) действительно при  $q \leq W_m$  или  $\delta t_{\delta} < v$ , т.к. перепад температур теплоносителя не может быть больше максимальной разности температур между греющей и нагреваемой средой.

Для прямотока уравнение (7.10) действительно в диапазоне

$$q \leq \frac{1}{\frac{1}{W_{\delta}} + \frac{1}{W_m}}$$

или

$$\delta t_{\delta} + \delta t_m \leq v.$$

Уравнение характеристики легко приводится к безразмерному виду, что значительно упрощает расчеты.

Обозначим через  $\varepsilon$  безразмерную удельную тепловую производительность теплообменника

$$\varepsilon = \frac{q}{W_m}. \quad (7.11)$$

Выражение для расчета  $\varepsilon$  получают из уравнений (7.10) и (7.11):

$$\varepsilon = \frac{1}{\alpha \frac{W_m}{W_{\delta}} + b + \frac{1}{\omega}} \leq \varepsilon^*, \quad (7.12)$$

где  $\omega = k \cdot F / W_m$ ;

$\varepsilon^*$  - безразмерная удельная теплопроизводительность теплообменника с бесконечно большой поверхностью нагрева.

Для противотока  $\varepsilon^* = 1$ , для прямотока  $\varepsilon^* = 1/(1 + W_M/W_0)$ .

Знак неравенства в выражении (7.12) указывает на то, что величина  $\varepsilon$  не может превысить  $\varepsilon^*$ , т.к. температура нагреваемой среды не может превысить температуру греющей среды.

Поэтому, когда расчетное значение  $\varepsilon$  получается больше  $\varepsilon^*$ , для дальнейших расчетов принимают  $\varepsilon = \varepsilon^*$ .

Уравнение характеристики отопительной системы выводится из общего уравнения регулирования (7.6). При этом учитывается наличие смешения на вводе и высокое значение эквивалента воздуха по сравнению с эквивалентом расхода воды, что позволяет принимать  $W_M/W_0 = 0$ .

Безразмерная удельная теплопроизводительность отопительной системы равна:

$$\varepsilon_0 = \frac{Q_0}{v \cdot W} = \frac{1}{\frac{0,5 + u}{1 + u} + \frac{W}{\kappa \cdot F}} \leq 1, \quad (7.13)$$

где  $v = \tau_1 - t_b$ , - разность температур воды в подающей линии тепловой сети и воздуха в помещении;

$W$  - эквивалент расхода сетевой воды, поступающей в смесительное устройство узла ввода;

$u$  - коэффициент смешения.

Для облегчения расчетов зависимости (7.12) и (7.13) могут быть преобразованы путем замены произведения  $\kappa F$  равнозначным выражением, учитывающим с достаточной для практических расчетов точностью все факторы, влияющие на условия теплообмена.

Для водоводяных подогревателей

$$\kappa F = \Phi \sqrt{W_M W_0}, \quad \text{Вт/}^\circ\text{C}, \quad (7.14)$$

для калориферов с водяным обогревом

$$\kappa F = \Phi W_M^{m_1} W_0^{m_2}, \quad \text{Вт/}^\circ\text{C}, \quad (7.15)$$

где  $\Phi$  - параметр теплообменника, величина практически постоянная для данного подогревателя;

$m_1, m_2$  - показатели степени; для калориферов при турбулентном движении воды и воздуха принимают  $m_1 = 0,12 - 0,3$ ;  $m_2 = 0,33 - 0,5$ .

Параметр  $\Phi$  определяют из формул (7.14) или (7.15) по данным расчетного режима.

Изменение коэффициента теплопередачи отопительных приборов описывается выражением

$$\kappa = A (\Delta t_0)^n = A (\tau_{\text{ср}} - t_{\text{в}})^n, \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}), \quad (7.16)$$

где  $\Delta t_0$  - температурный напор;

$\tau_{\text{ср}}$  - средняя температура теплоносителя в приборе;

$t_{\text{в}}$  - температура воздуха в помещении;

$A$  и  $n$  - константы, зависящие от типа прибора и схемы его установки; принимают  $n = 0,25$ .

Из уравнения теплового баланса отопительной системы, с учетом зависимости (4.16), следует

$$\kappa F = \Phi_0 Q_0^{0,2}, \quad \text{Вт}/^\circ\text{С}, \quad (7.17)$$

где  $Q_0 = Q_0 / Q_0'$  - относительный расход тепла на отопление;

$\Phi_0 = k' F$  - параметр отопительной системы, кВт/°С.

Подставив в уравнение (7.12) значения постоянных коэффициентов  $a$  и  $b$  для противотока и заменив произведение  $k \cdot F$  выражением (7.14), получим следующую зависимость для определения безразмерной удельной теплопроизводительности секционного водоподогревателя.

$$\varepsilon = \frac{1}{0,35 \frac{W_{\text{м}}}{W_{\text{б}}} + 0,65 + \frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{W_{\text{м}}}{W_{\text{б}}}}} \leq 1. \quad (7.18)$$

Безразмерная теплопроизводительность отопительной системы (7.13), с учетом выражения (7.17), имеет вид

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{\frac{0,5 + u}{1 + u} + \frac{1}{\omega}} \leq 1, \quad (7.19)$$

где

$$\omega = \frac{\Phi_0 \cdot Q_0^{0,2}}{W} = \frac{Q_0' \cdot Q_0^{-0,2}}{\Delta t_0 W}.$$

С помощью полученных зависимостей тепловую производительность теплообменников определяют по формуле

$$Q = \varepsilon \cdot W \cdot \nu, \quad \text{Вт}. \quad (7.20)$$

Уравнения (7.18) - (7.20) универсальны. На их основе могут быть решены все задачи, связанные с работой теплообменников в нерасчетных условиях.