

The background image shows a complex industrial plant with numerous large, silver-colored pipes and a central distillation column. The sky is blue with some light clouds. The text is overlaid on a semi-transparent white rectangular area.

ТЕМА 4. РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК

**Полоцкий государственный университет.
Лектор Нияковский А.М. ©**

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

ВОПРОСЫ:

- 1. Необходимость и основные принципы регулирования тепловых нагрузок.**
- 2. Виды регулирования тепловых нагрузок в системах теплоснабжения.**
- 3. Общее уравнение регулирования тепловых нагрузок.**
- 4. Переменные режимы и тепловые характеристики теплообменных аппаратов.**
- 5. Регулирование однородной нагрузки в закрытых системах теплоснабжения.**
- 6. Регулирование совмещённой нагрузки отопления и горячего водоснабжения в закрытых системах теплоснабжения.**
- 7. Регулирование тепловых нагрузок в открытых системах теплоснабжения.**
- 8. Одновременное регулирование разнородных тепловых нагрузок.**
- 9. Преимущества и недостатки различных способов регулирования тепловых нагрузок.**

ВСЕГО 6 часов

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

4.1. Необходимость и основные принципы регулирования тепловых нагрузок.

□ Необходимость регулирования обусловлена:

- Изменением параметров наружного воздуха в течение года
- Переменным характером тепловлажностных режимов отапливаемых помещений
- Изменчивостью технологического теплового потребления
- Разнообразием потребителей, отличающихся характером и величиной теплового потребления
- Разнообразием видов тепловых нагрузок и их взаимным влиянием в процессе генерации и потребления теплоты.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Регулирование тепловых нагрузок является частью более общего процесса – процесса УПРАВЛЕНИЯ системой теплоснабжения (ТС).
- ❑ **УПРАВЛЕНИЕ системой ТС** заключается в реализации алгоритмов регулирования, обеспечивающих безопасную работу и поддержание контролируемых параметров в пределах допустимых значений с минимальными затратами во всех подсистемах и частях системы ТС.
- ❑ Система управления включает в себя:
 - *Алгоритм (программу) управления*
 - *Элементы считывания и преобразования сигналов*
 - *Элементы сравнения сигналов с заданными значениями*
 - *Элементы выработки корректирующих воздействий*
 - *Исполнительные элементы*
 - *Устройства сигнализации, блокировки и защиты*

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Система управления состоит из различных **контуров и каскадов управления**, осуществляющих управление отдельными **ОБЪЕКТАМИ** системы теплоснабжения:
 - теплогенерирующим оборудованием источника,
 - сетевыми, подпиточными, повысительными, подмешивающими и циркуляционными насосами,
 - контрольно-распределительными, центральными и индивидуальными тепловыми пунктами,
 - системами теплопотребления в установках горячего водоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха,
 - системой теплоснабжения в целом.

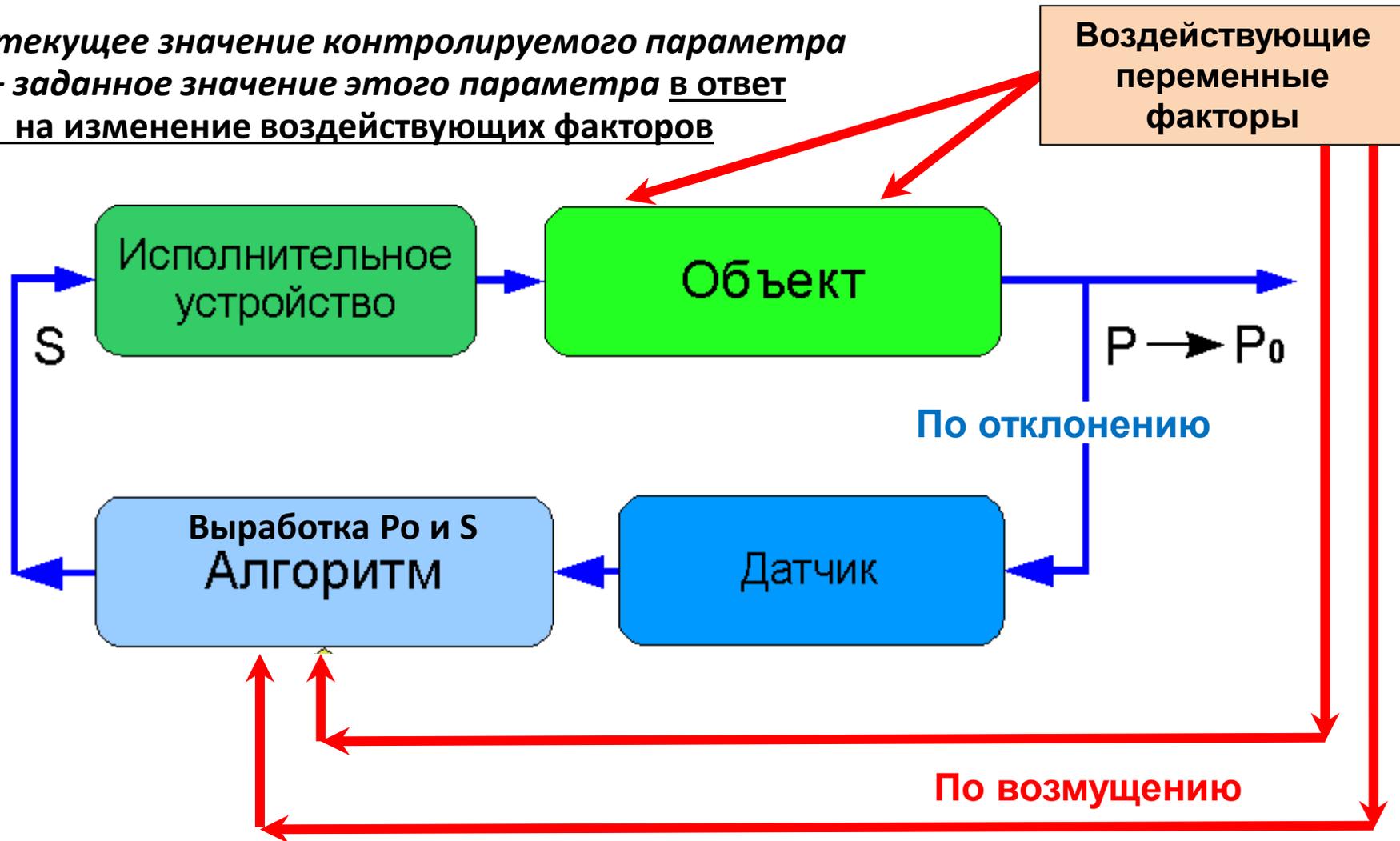
Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Контур управления:

P – текущее значение контролируемого параметра

P_0 – заданное значение этого параметра в ответ
на изменение воздействующих факторов



Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Установившееся состояния системы перестаёт соответствовать требуемому в результате **«возмущающих воздействий»**, обусловленных:
 - внешними факторами (температура, солнечное излучение и т.п.)
 - внутренними факторами (теплопоступления в помещения от людей и оборудования, наличие или отсутствие людей на объектах потребления, особенности технологических процессов, аварийные ситуации в системе ТС и т.п.)
- ❑ Внутренние причины такой утраты соответствия **определяются, главным образом, режимом эксплуатации**, цикличностью технологических процессов, посещаемостью людьми и т.д.
- ❑ Внешние причины – **обусловлены характером изменений параметров наружного воздуха** в течение года, месяца, а также в течение отдельно взятых суток.

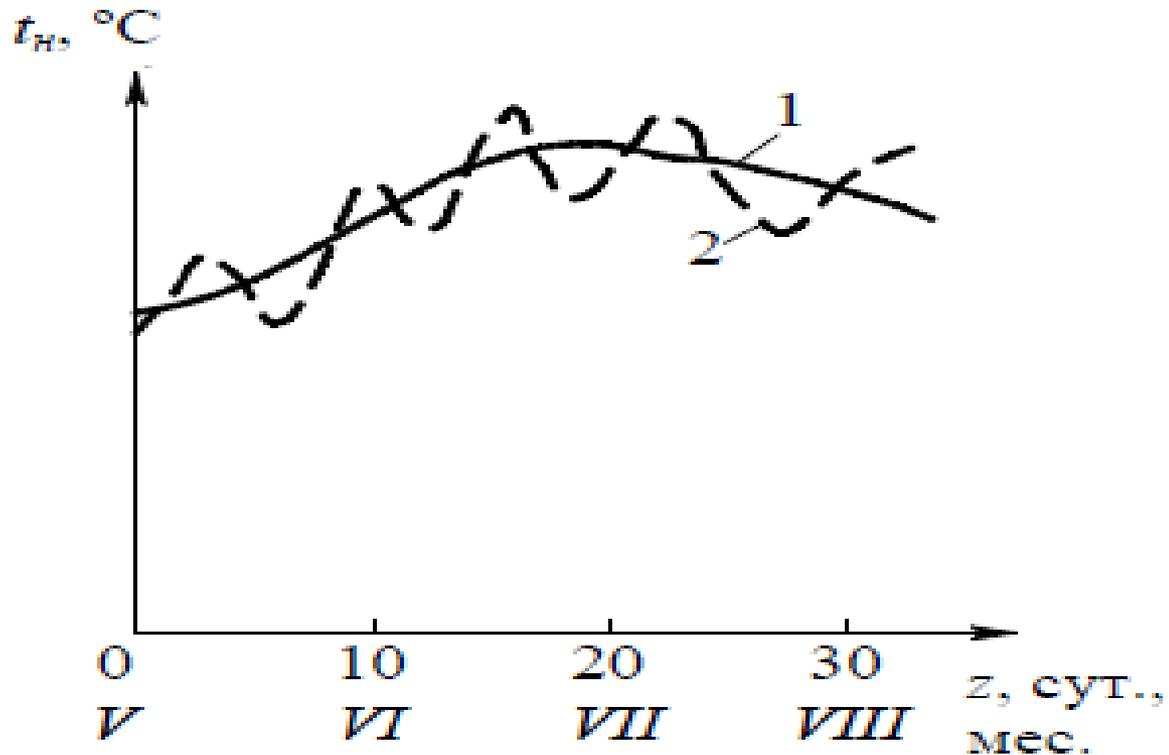
Состояние системы, обеспечивающее при данной совокупности возмущающих воздействий заданные значения контролируемых параметров во всех контурах управления, называется РЕЖИМОМ РАБОТЫ.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Различают **ДЛИТЕЛЬНЫЕ** (годовые, сезонные, месячные) и **КРАТКОВРЕМЕННЫЕ** (часовые, суточные) **возмущающие воздействия**, приводящие к необходимости смены режима работы системы.
- ❑ Возмущающие воздействия имеют случайный, статистический характер

- 1 – длительные воздействия;
- 2 – кратковременные воздействия



Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Рассмотрение процессов регулирования для длительных (месячных, сезонных, годовых) периодов эксплуатации **связано с анализом переменных во времени, но условно постоянных – КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ – тепловых процессов**, поскольку в этих случаях изменение во времени возмущающих воздействий (температура наружного воздуха, солнечная радиация и т.п.) происходит значительно медленнее по сравнению с продолжительностью процессов регулирования в контурах управления системой теплоснабжения.
- ❑ Регулирование при изменении возмущающих воздействий в течение коротких промежутков времени (часы, сутки) **определяется, главным образом, НЕСТАЦИОНАРНЫМИ тепловыми процессами**, так как время изменения этих воздействий соизмеримо со временем протекания переходных тепловых процессов в системе управления и в помещениях.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ При обеспечении сезонного теплового потребления (отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха) **регулирование тепловых нагрузок в системах теплоснабжения осуществляется, главным образом, в зависимости от длительных возмущающих воздействий** и протекающие тепловые процессы считаются квазистационарными.
- ❑ При обеспечении круглогодичного потребления (горячее водоснабжение, производственное потребление) **регулирование тепловых нагрузок должно осуществляться с учетом как длительных, так и кратковременных возмущающих воздействий.**

В задачу регулирования тепловых нагрузок средствами систем теплоснабжения НЕ ВХОДИТ обеспечение оптимальных параметров микроклимата в помещениях.

Поддержание таких параметров является задачей систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Таким образом, нами установлено, что режимы потребления теплоты множеством абонентов неодинаковы: тепловая нагрузка отопительных установок изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха, оставаясь практически стабильной в течение суток; расход теплоты на ГВ и для ряда технологических процессов не зависит от температуры наружного воздуха, но изменяется как по часам суток, так и по дням недели.
- В этих условиях необходимо искусственное изменение параметров и расходов теплоносителя в соответствии с фактической потребностью абонентов в теплоте, что и обеспечивается регулированием нагрузок.

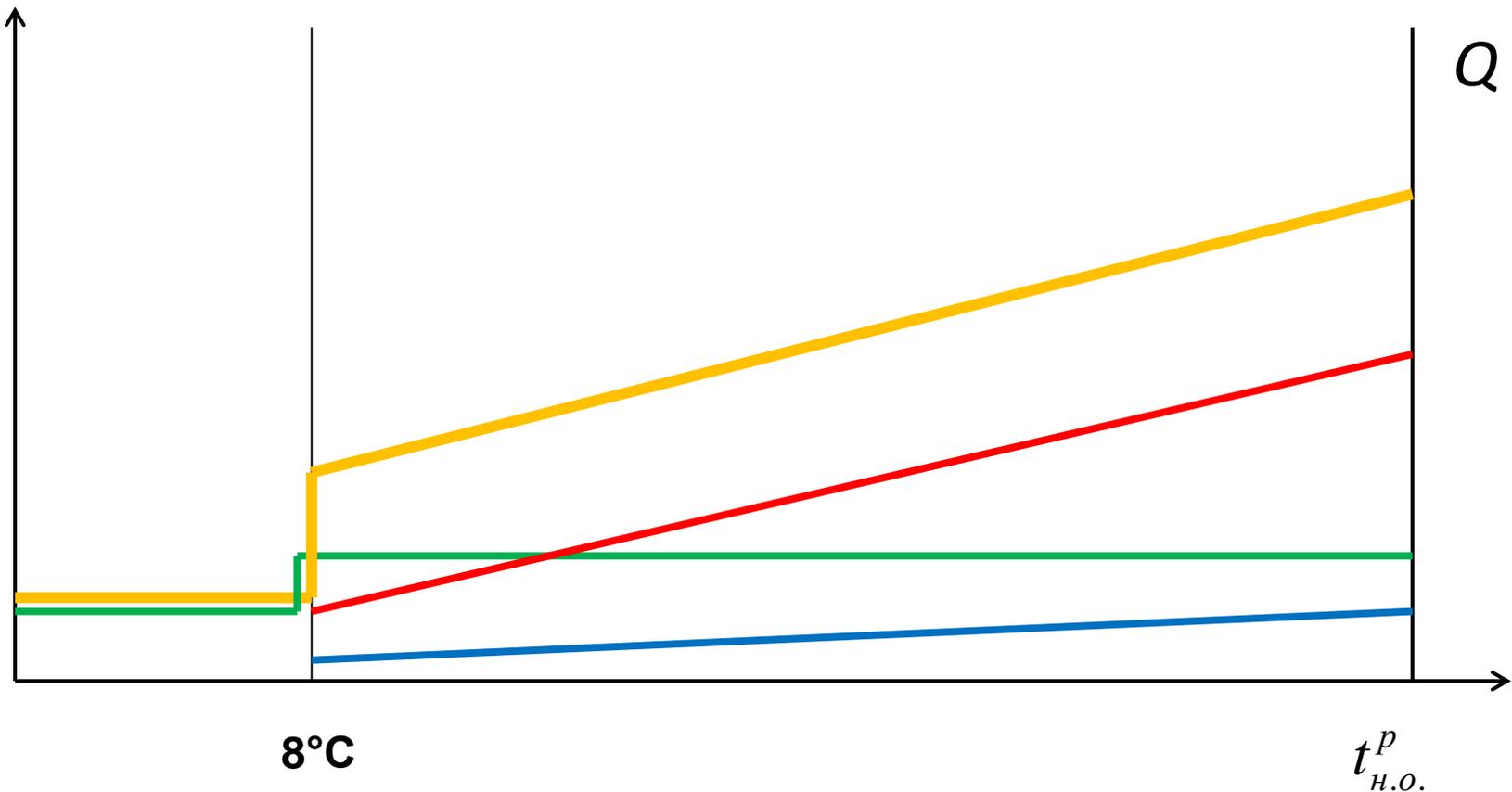
РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ – это часть процесса управления, представляющая собой целенаправленное изменение режима работы системы под влиянием возмущающих воздействий для ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ ТЕПЛОВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ.

Регулирование призвано обеспечить потребителей теплотой требуемых параметров, в необходимом количестве, в заданное время с минимальными затратами.

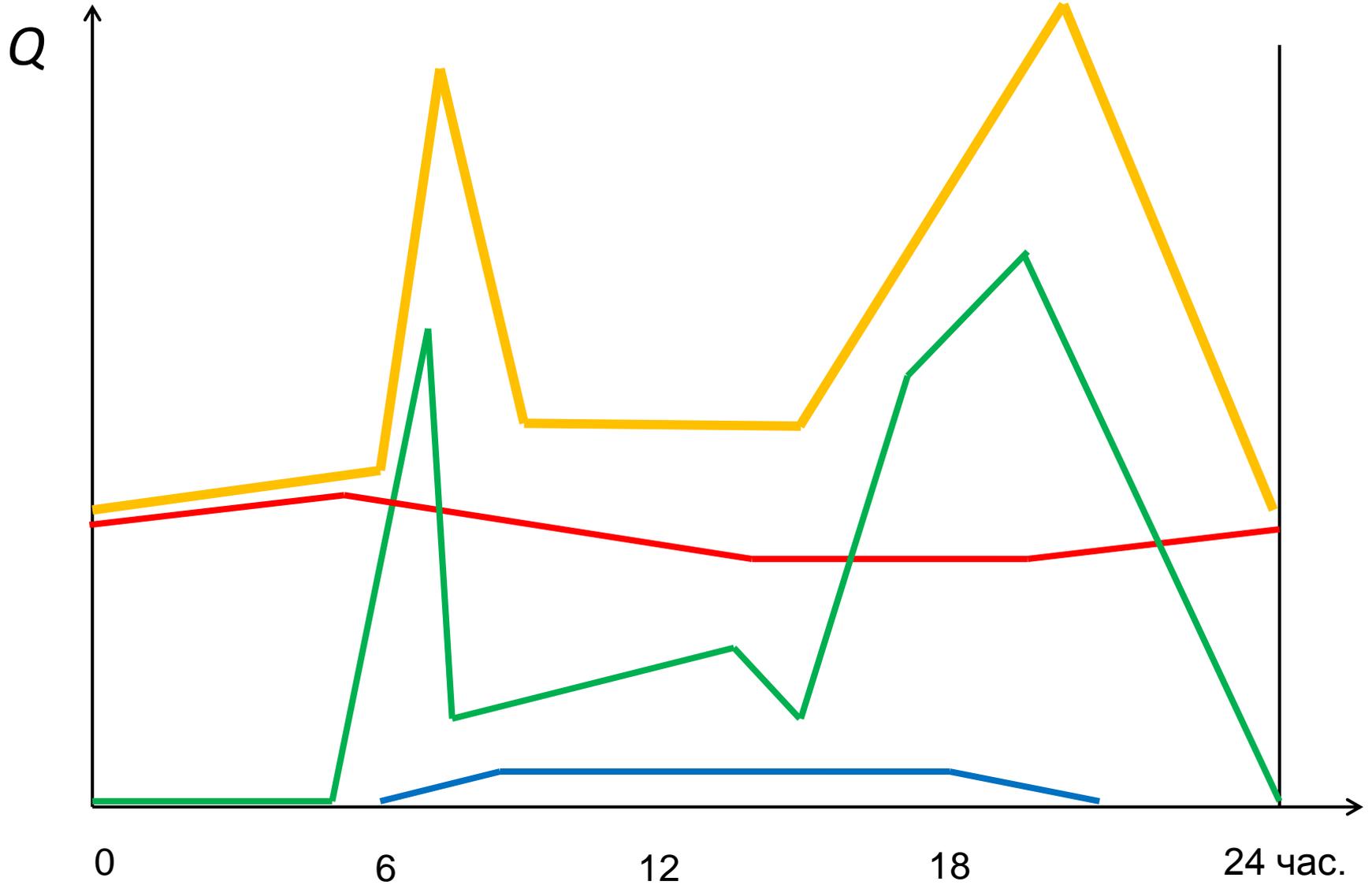
ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Формулировка задачи регулирования:

- Задача регулирования тепловых нагрузок в теплоснабжении состоит в ПОДДЕРЖАНИИ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК на ЗАДАННОМ уровне.
- В связи с этим возникают два вопроса :
КАКИЕ регулировать НАГРУЗКИ? и В ЗАВИСИМОСТИ ОТ изменений КАКОГО ПАРАМЕТРА??



ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок



ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Регулирование может быть основано на двух базовых принципах:

на принципе **несвязанного** регулирования

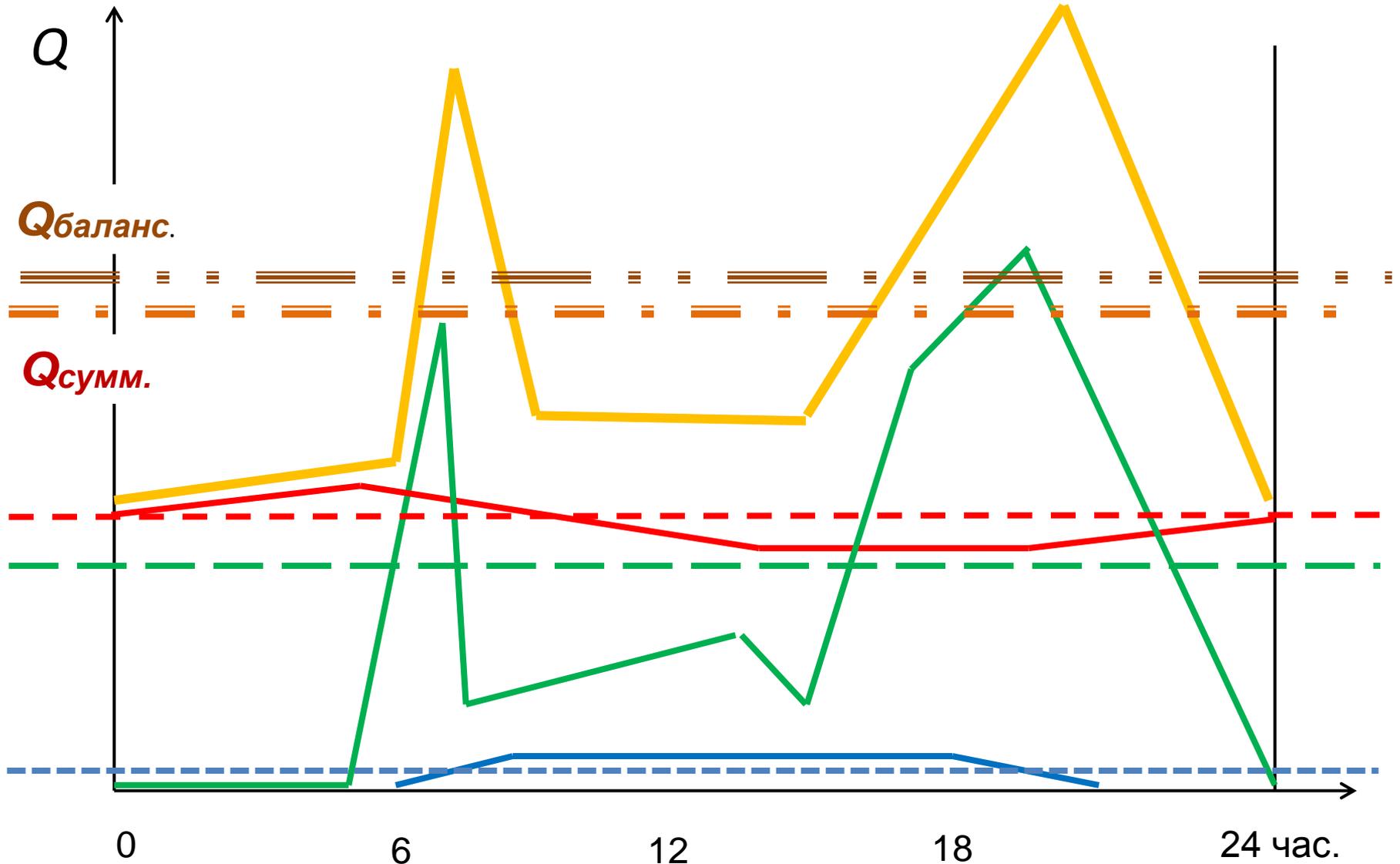
- *регулируется каждая нагрузка в отдельности с учётом неравномерности потребления;*

на принципе **связанного** регулирования

- *регулируется условная суммарная нагрузка, называемая балансовой без учёта неравномерности потребления.*

- ✓ *В первом случае на абонентские вводы подаётся требуемое в данный момент количество теплоты для каждого вида потребления с учётом часовой неравномерности.*
- ✓ *Во втором случае подаётся суммарное количество теплоты, исходя из средней величины потребления по каждому виду нагрузок, с некоторым запасом, но без учёта их часовой неравномерности.*

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок



К вопросу о принципе связанного регулирования

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Вопрос:

«Какие тепловые нагрузки поддерживать при регулировании?»

Ответ:

Регулированию подлежат отдельные нагрузки по видам потребления либо условная балансовая нагрузка – в зависимости от избранного принципа регулирования.

Вопрос:

«В зависимости от изменения каких факторов осуществляется регулирование тепловых нагрузок?»

Ответ:

Регулирование осуществляется по возмущению (изменение температуры наружного воздуха) и по отклонению (изменение температур и давлений теплоносителя на абонентских вводах) – сочетанием этих двух способов.

Регулирование тепловых нагрузок реализуется различными методами.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

4.2. Виды регулирования тепловых нагрузок в системах теплоснабжения

Многообразие методов регулирования тепловых нагрузок может быть раскрыто в результате анализа следующих балансовых уравнений:

$$Q = G \cdot c \cdot (\tau_1 - \tau_2) \cdot n = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \cdot n$$

где Q - количество теплоты, полученное теплообменником от теплоносителя и отданное нагреваемой среде, кВтч;

G - расход теплоносителя кг/с;

c - теплоемкость теплоносителя, кДж/кг·°С;

τ_1, τ_2 - темп. теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °С;

n - время, ч;

k - коэффициент теплопередачи, кВт/м²·°С;

F - поверхность нагрева теплообменника, м²;

Δt_{cp} - температур. напор между греющей и нагреваемой средой, °С.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

$$Q = G \cdot c \cdot (\tau_1 - \tau_2) \cdot n = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \cdot n$$

Тепловое потребление и обусловленную им тепловую нагрузку можно регулировать:

- изменением расхода теплоносителя – G
- изменением температуры теплоносителя – τ_1
- изменением времени отпуска теплоты потребителю в течение суток – n
- изменением включённой в работу поверхности теплообмена F
- изменением интенсивности теплопередачи k .

При увеличении/уменьшении G растёт/снижается τ_2 и, следовательно, увеличивается/уменьшается температурный напор Δt , что ведет к увеличению/уменьшению теплопередачи в теплообменнике.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Таким образом, по регулируемому параметру можно выделить следующие **методы регулирования** тепловых нагрузок:

- **Качественное регулирование** – осуществляется изменением температуры теплоносителя при постоянном его расходе.
- **Количественное регулирование** – производится изменением расхода теплоносителя при постоянной его температуре в подающем трубопроводе.
- **Качественно-количественное регулирование** – выполняется путем совместного изменения температуры и расхода теплоносителя.
- **Прерывистое регулирование (регулирование «пропусками»)** – достигается периодическим отключением теплопотребляющих установок, т. е. «пропусками» подачи теплоносителя. Отключение части поверхности нагрева отопительных приборов является его разновидностью

Регулирование путем изменения интенсивности теплопередачи (изменением коэффициента k) самостоятельного значения не имеет.

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

По месту осуществления регулирующих воздействий различают: центральное, групповое, местное, индивидуальное и комбинированное регулирование.

- **Центральное регулирование** – выполняют на источнике теплоты по преобладающей нагрузке, характерной для большинства абонентов (отопления, совмещенной нагрузке отопления и ГВ, технологической).
- **Групповое регулирование** – производится в центральных тепловых пунктах для группы однородных потребителей.
- **Местное регулирование** – предусматривается на абонентском вводе одного потребителя для дополнительной корректировки параметров теплоносителя с учетом местных факторов.
- **Индивидуальное регулирование** осуществляется непосредственно у теплопотребляющих приборов, например у нагревательных приборов систем отопления, и дополняет другие виды регулирования.
- **Комбинированное регулирование** – состоящее из нескольких ступеней (каскадов) регулирования, взаимно дополняющих друг друга.

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

По способу осуществления регулирующих воздействий регулирование может быть автоматическим, полуавтоматическим, ручным.

- **Автоматическое регулирование** – осуществляется по специальному алгоритму посредством сервоприводов (регулирующего оборудования с электрическим, гидравлическим или пневматическим приводом), воздействующих на исполнительные механизмы (задвижки, клапаны, регуляторы, краны) без участия человека.
- **Ручное регулирование** – производится в соответствии с разработанными регламентами обслуживающим персоналом путем управления исполнительными механизмами или в результате принудительного запуска сервоприводов вручную.
- **Полуавтоматическое регулирование** – предполагает сочетание автоматических и ручных способов регулирования, например, центрального автоматического и местного ручного управления.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

4.3.Общее уравнение регулирования тепловых нагрузок.

Запишем уравнения теплового баланса в системе теплоснабжения для текущих (1) и расчётных (2) условий:

$$Q = G_n \cdot c \cdot (\tau_1 - \tau_2) = G_g \cdot c \cdot (t_1 - t_2) = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \quad (1)$$

$$Q' = G'_n \cdot c \cdot (\tau'_1 - \tau'_2) = G'_g \cdot c \cdot (t'_1 - t'_2) = k' \cdot F \cdot \Delta t'_{cp} \quad (2)$$

где Q – текущая тепловая нагрузка;

G_n– расход первичного (греющего) теплоносителя;

G_г – расход вторичной (нагреваемой) среды;

τ₁, τ₂ – температура первичного теплоносителя на входе и выходе из теплообменника;

t₂, t₁ – соответственно, температура нагреваемой среды на входе в теплообменник и на выходе из него.

Индексом штрих обозначены все величины, относящиеся к расчетным условиям, индекс 1 – нагретое, индекс 2 – охлажденное температурное состояние среды в теплообменнике

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Разделив почленно уравнение (1) на уравнение (2) получим общее уравнение регулирования (3):

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{G_n \cdot (\tau_1 - \tau_2)}{G'_n \cdot (\tau'_1 - \tau'_2)} = \frac{G_\sigma \cdot (t_1 - t_2)}{G'_\sigma \cdot (t'_1 - t'_2)} = \frac{k \cdot \Delta t_{cp}}{k' \cdot \Delta t'_{cp}} \quad (3)$$

Уравнение теплового баланса (1) может быть представлено в виде:

$$Q = W_\sigma \cdot \delta t_m = W_m \cdot \delta t_\sigma = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \quad (4)$$

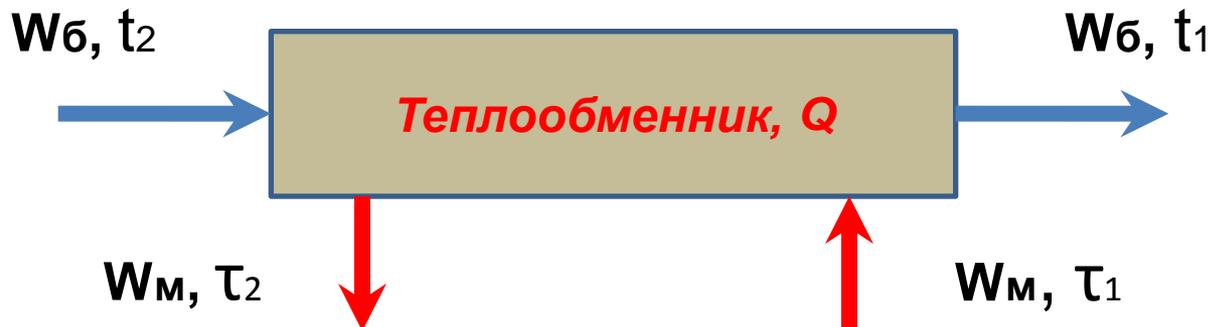
где W_σ , W_m – большее и меньшее значения водяных эквивалентов теплообменивающихся сред; $W = G \cdot c$ – водяной эквивалент, представляющий собой произведение массового расхода теплоносителя на его удельную теплоемкость;

δt_m и δt_σ – соответственно меньший и больший перепады температур теплоносителей.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Схема, поясняющая обозначения в уравнении (4)



*Как правило, $\delta t_M = t_1 - t_2$ и $\delta t_6 = \tau_1 - \tau_2$
Меньшему перепаду температур соответствует
большой расход теплоносителя*

Величина $\tau_1 - t_2 = \delta t_{max}$ называется максимальной разностью температур в теплообменнике

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Поскольку мы выше приняли, что $\delta t_m = t_1 - t_2$ и $\delta t_6 = \tau_1 - \tau_2$,
то с учётом уравнения (4) уравнение (3) примет вид:

$$\boxed{\bar{Q} = \bar{W}_6 \cdot \bar{\delta t}_m = \bar{W}_m \cdot \bar{\delta t}_6 = \bar{k} \cdot \bar{\Delta t}} \quad (5)$$

где $\bar{Q} = Q/Q'$; $\bar{W} = W/W'$; $\bar{\delta t} = \delta t/\delta t'$; $\bar{k} = k/k'$; $\bar{\Delta t} = \Delta t/\Delta t'$ (6)

$$\bar{Q} = \frac{t_{в.р.} - t_n}{t_{в.р.} - t_{н.о.}^p} \quad (6')$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Зависимость входящего в уравнение (4) относительного водяного эквивалента расхода сетевой воды от относительной тепловой нагрузки может быть выражена эмпирическим уравнением:

$$\overline{W} = \overline{Q}^{m_r} \quad (7)$$

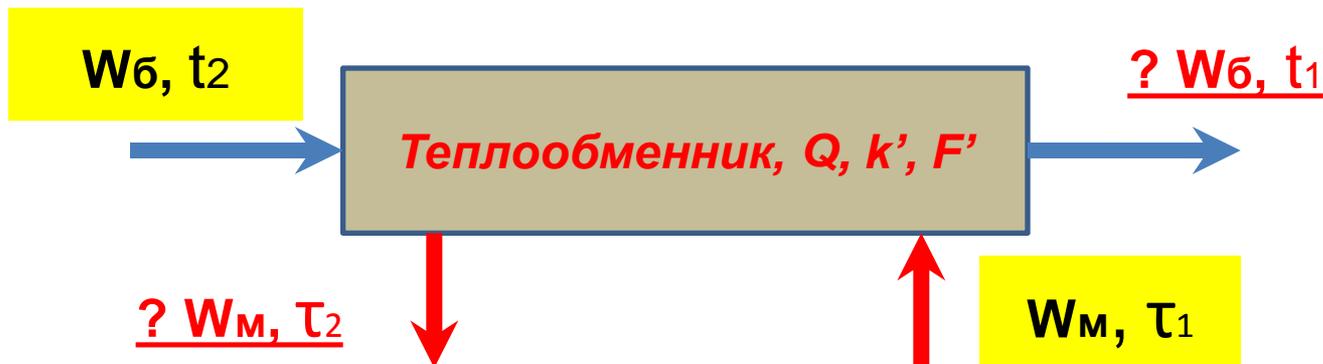
где m_r – показатель степени, зависящий от метода регулирования и схемы системы отопления.

*При качественном методе $m_r = 0$,
при качественно-количественном $0 < m_r < 1$,*

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

4.4. Переменные режимы и тепловые характеристики теплообменных аппаратов



- При расчётах **переменных режимов** теплообменника (т.е. когда его мощность отличается от расчётной) **известными** величинами обычно являются: требуемая теплопроизводительность Q , начальные температуры теплоносителей на входе τ_1, τ_2 расчётные значения Q', k' и F'
- Использовать в этом случае уравнения 5 и 6 трудно, так как неизвестны значения расходов W_m и W_6 , температур t_1 и τ_2

Неизвестные значения температуры теплоносителей придется определять методом последовательных приближений.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Запишем уравнение теплового баланса в теплообменнике через величины: W_m , τ_1 и t_2

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp} = \boxed{\varepsilon \cdot W_m \cdot (\tau_1 - t_2)} \quad (8)$$

где ε — специально вводимая величина, которую назовём **безразмерной тепловой производительностью теплообменника**

$$\varepsilon = \frac{kF}{W_m} \cdot \frac{\Delta t_{cp}}{(\tau_1 - t_2)} \quad (9)$$

Это уравнение как раз и представляет собой уравнение характеристики теплообменного аппарата, выраженное в наиболее общем виде

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- С достаточной для инженерных расчётов точностью логарифмическую разность температур в уравнении 9 можно заменить соответствующей линейной зависимостью:

$$\Delta t_{cp} = (\tau_1 - t_2) - a\delta t_m - b\delta t_{\sigma} \quad (10)$$

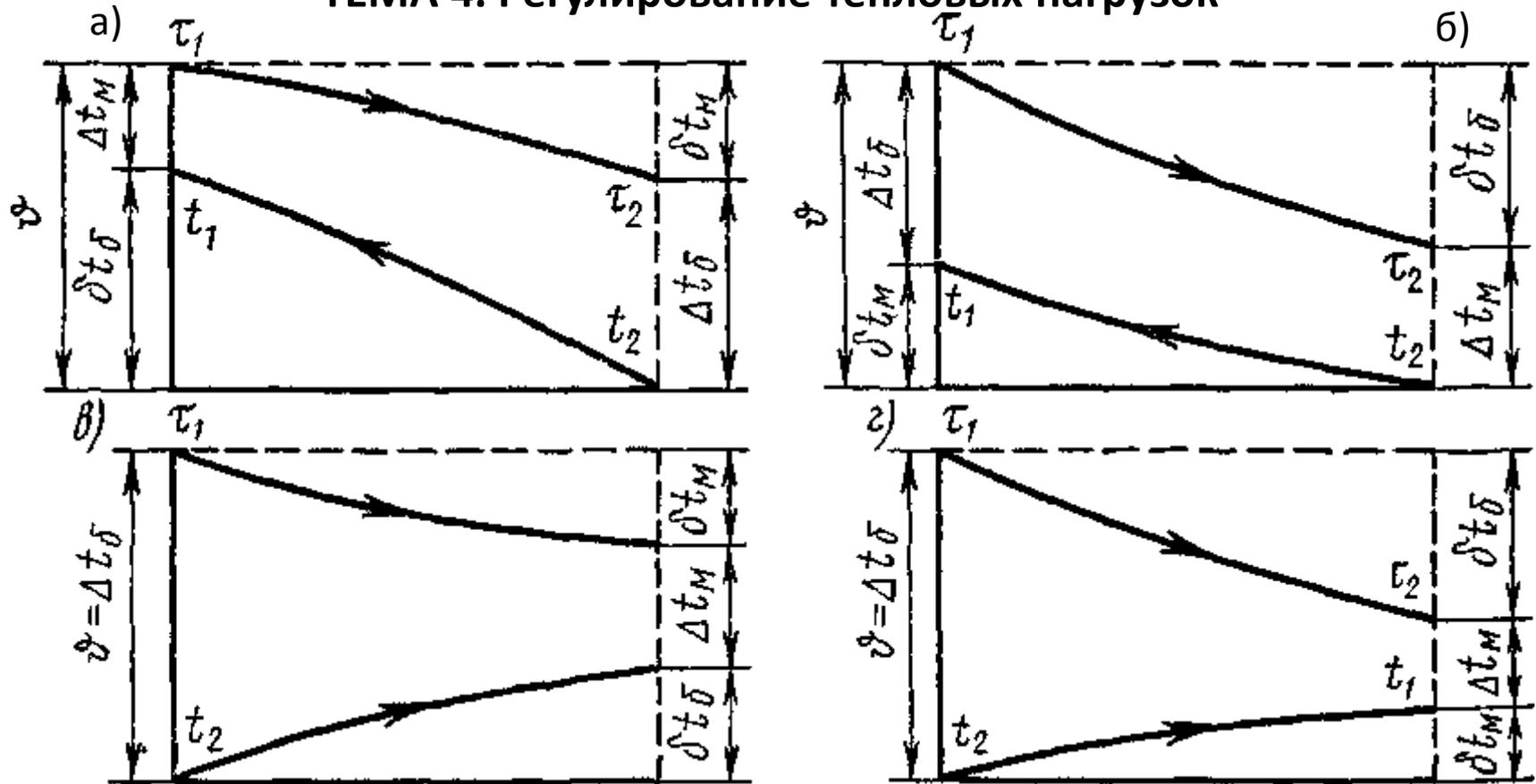
где a и b – постоянные коэффициенты, зависящие от схемы движения теплоносителя в теплообменном аппарате;

при прямотоке принимается $a = b = 0,65$,

при противоточном движении $a = 0,35$, $b = 0,65$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок



Изменение температур теплоносителя в прямоточных и противоточных аппаратах: а,в – при соотношении $W_p/W_v > 1$; б,г – то же, $W_p/W_v < 1$; W_p – водяной эквивалент первичного (греющего) теплоносителя; W_v – водяной эквивалент вторичного (нагреваемого) теплоносителя; $V = (\tau_1 - t_2)$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Решим уравнение (10) относительно максимальной разности температур в теплообменнике $\tau_1 - t_2$:

$$(10) \quad \Delta t_{cp} = (\tau_1 - t_2) - a\delta t_m - b\delta t_{\bar{\sigma}} \Rightarrow (\tau_1 - t_2) = a\delta t_m + b\delta t_{\bar{\sigma}} + \Delta t_{cp} \quad (11)$$

Возведем обе части уравнения (11) в минус первую степень после чего умножим их на Q . В результате получим:

$$\frac{Q}{(\tau_1 - t_2)} = \frac{Q}{a\delta t_m + b\delta t_{\bar{\sigma}} + \Delta t_{cp}}$$

Теперь одновременно разделим числитель и знаменатель правой части получившегося уравнения на Q :

$$\frac{Q}{(\tau_1 - t_2)} = \frac{1}{\frac{a}{W_{\bar{\sigma}}} + \frac{b}{W_m} + \frac{1}{kF}} \quad (12)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Принимая во внимание уравнение (8), получим из уравнения (12):

$$\frac{Q}{(\tau_1 - t_2)} = \frac{\varepsilon \cdot W_m \cdot (\tau_1 - t_2)}{(\tau_1 - t_2)} = \frac{1}{\frac{a}{W_{\bar{\delta}}} + \frac{b}{W_m} + \frac{1}{kF}} \quad (13)$$

А разделив уравнение (13) почленно на W_m , будем иметь:

$$\varepsilon = \frac{1}{\left(\frac{a}{W_{\bar{\delta}}} + \frac{b}{W_m} + \frac{1}{kF}\right) \cdot W_m} = \frac{1}{a \frac{W_m}{W_{\bar{\delta}}} + b + \frac{W_m}{kF}} \quad (14)$$

где $\frac{kF}{W_m} = \omega$ – число единиц переноса – NTU (15)

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Итак, удельная безразмерная тепловая производительность равна:

$$\varepsilon = \frac{1}{a \frac{W_M}{W_{\bar{\delta}}} + b + \frac{1}{\omega}} \leq \varepsilon^* \quad (16)$$

где ε^* - безразмерная удельная теплопроизводительность теплообменника с бесконечно большой поверхностью нагрева.

Для противотока ε^* равна 1;

для прямотока ε^* определяется по формуле:

$$\varepsilon^* = \frac{1}{1 + \frac{W_M}{W_{\bar{\delta}}}} \quad (17)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Для вычисления удельной безразмерной тепловой производительности теплообменника ε необходимо знать:
 - ✓ *NTU теплообменника ω (формула 15) ;*
 - ✓ *расходы теплоносителей через теплообменник;*
 - ✓ *направление движения теплоносителей относительно друг друга (прямоток или противоток).*
- В случае прямотока вычисляется ε^* по формуле 17. При противотоке $\varepsilon^*=1$
- Затем по формуле 16 определяется ε ; если результат вычисления превысит ε^* , то принимается $\varepsilon = \varepsilon^*$.

Зная ε можно всегда узнать тепловую производительность теплообменника для любых значений расходов сред и их начальных температур, а также решить обратную задачу относительно τ_1 или t_2 по формуле 18 :

$$Q = \varepsilon \cdot W_m \cdot (\tau_1 - t_2) \quad (18)$$

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

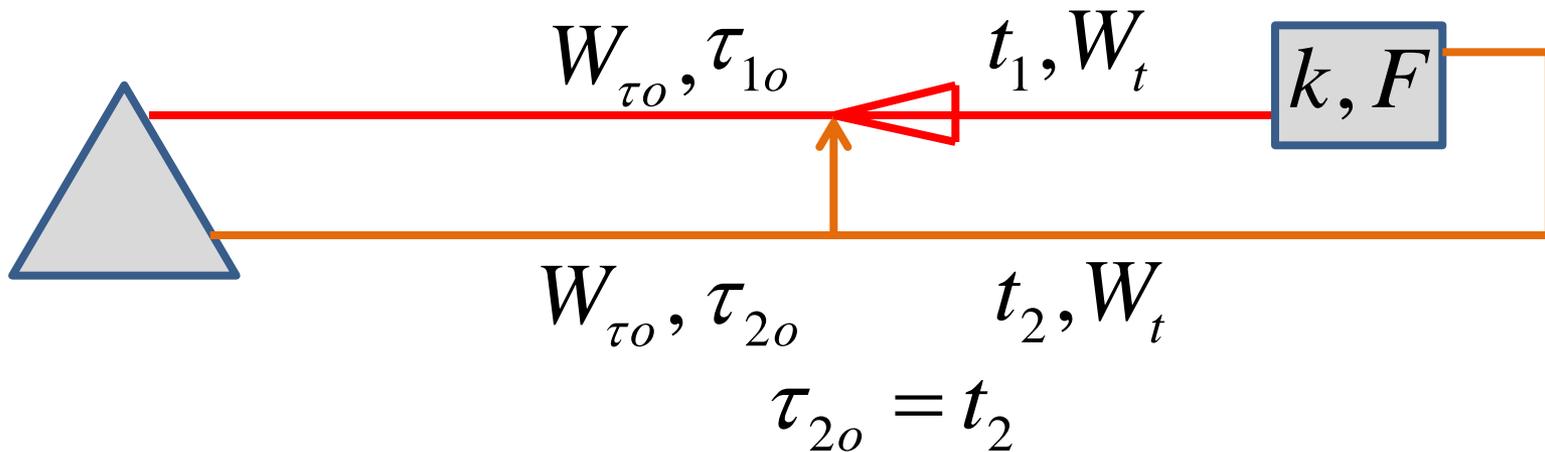
4.5. Регулирование однородной нагрузки в закрытых системах теплоснабжения.

- Наиболее простым методом регулирования является центральное регулирование однородной тепловой нагрузки при несвязанном принципе регулирования.

Рассмотрим случай центрального регулирования группы однородных потребителей по нагрузке отопления при несвязанном принципе регулирования и зависимой схеме присоединения систем отопления к тепловой сети через узел смешения (элеватор или смесительный насос).

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок



□ Уравнения, описывающие состояние системы:

$$\bar{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q'_0} = \frac{t_v^p - t_n}{t_v^p - t_{н.о}^p} = \frac{W_{\tau_o} (\tau_{1o} - \tau_{2o})}{W'_{\tau_o} (\tau'_{1o} - \tau'_{2o})} = \frac{W_t (t_1 - t_2)}{W'_t (t'_1 - t'_2)} = \frac{k \Delta t_{cp}}{k' \Delta t'_{cp}}; \quad (19)$$

$$\bar{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q'_0} = \frac{k \Delta t_{cp}}{k' \Delta t'_{cp}}; \quad (20)$$

$$k = m \cdot W_t^a \Delta t_{cp}^n; \quad (21)$$

$$k' = m \cdot W_t'^a \Delta t_{cp}'^n; \quad (21)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Сделаем подстановку уравнения 21 в уравнение 20 и примем во внимание, что показатель степени $a \approx 0$ и $m = \text{const}$:

$$\bar{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q'_0} = \frac{m \cdot W_t^a \cdot \Delta t_{cp}^n \cdot \Delta t_{cp}}{m \cdot W_t'^a \cdot \Delta t_{cp}'^n \cdot \Delta t_{cp}'}; \quad (22)$$

$$\bar{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q'_0} = \frac{\Delta t_{cp}^n \cdot \Delta t_{cp}}{\Delta t_{cp}'^n \cdot \Delta t_{cp}'} = \left(\frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t_{cp}'} \right)^{n+1}; \quad (23)$$

- Подлежащие регулированию температуры t_1 и t_2 , содержатся в Δt_{cp} :

$$\Delta t_{cp} = 0,5(t_1 + t_2) - t_e^p; \quad (24)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- В уравнении 24 начальная и конечная температуры связаны между собой посредством следующего уравнения

$$Q_o = W_t(t_1 - t_2); \quad (25) \quad Q'_o = W'_t(t'_1 - t'_2); \quad (26)$$

- Разделив почленно уравнение 25 на уравнение 26, получим:

$$\bar{Q}_o = \frac{Q_o}{Q'_o} = \frac{W_t}{W'_t} \cdot \frac{(t_1 - t_2)}{(t'_1 - t'_2)} = \bar{W}_t \frac{t_1 - t_2}{t'_1 - t'_2}; \quad (27)$$

- Откуда следует:

$$t_2 = t_1 - (t'_1 - t'_2) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_t}; \quad (28)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Извлечем из уравнения 23 корень $n+1$ степени, подставим в него уравнение 24 и, принимая во внимание уравнение 28, решим относительно t_1 :

$$(23) \quad \bar{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q'_0} = \frac{\Delta t_{cp}^n \cdot \Delta t_{cp}}{\Delta t_{cp}'^n \cdot \Delta t_{cp}'} = \left(\frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t_{cp}'} \right)^{n+1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t_{cp} = \Delta t_{cp}' \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} = 0,5(t_1 + t_2) - t_{\epsilon}^p \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t_{cp}' \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} = 0,5[t_1 + t_1 - (t_1' - t_2') \frac{\bar{Q}_0}{\bar{W}_t}] - t_{\epsilon}^p \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_1 = t_{\epsilon}^p + \Delta t_{cp}' \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} + 0,5(t_1' - t_2') \frac{\bar{Q}_0}{\bar{W}_t} \quad (29)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Решим совместно уравнения 28 и 29 относительно t_2

$$t_2 = t_1 - (t_1' - t_2') \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_t}; \quad (28)$$

$$t_1 = t_e^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} + 0,5(t_1' - t_2') \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_t} \quad (29) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_2 = t_e^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} - 0,5(t_1' - t_2') \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_t} \quad (30)$$

Уравнения 29 и 30 являются уравнениями регулирования нагрузки отопления в системе теплоснабжения.

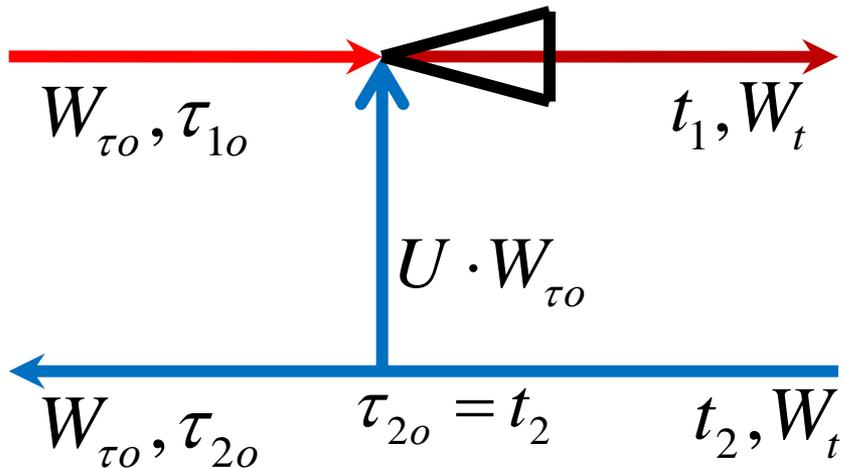
Если $\bar{W} = 1$, то регулирование является качественным

Если \bar{W} меньше 1, то регулирование является количественным или количественно – качественным

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Уравнения 29 и 30 позволяют определить температуру и расход теплоносителя **на входе и выходе системы отопления** при регулировании тепловой нагрузки отопления.
- ❑ Преобразуем эти уравнения к виду, позволяющему определить расход и температуры теплоносителя **в подающем и обратном трубопроводе тепловой сети**



U – коэффициент подмешивания

$$\begin{aligned} U &= W_{\text{подм.}} / W_{\tau o} = \\ &= (W_t - W_{\tau o}) / W_{\tau o}; \\ W_t - W_{\tau o} &= U \cdot W_{\tau o}; \\ W_{\tau o} \cdot \tau_{1o} + U \cdot W_{\tau o} \cdot t_2 &= \\ &= W_{\tau o} (1 + U) \cdot t_1 \Rightarrow \\ \Rightarrow \tau_{1o} + Ut_2 &= t_1 + Ut_1 \Rightarrow \\ \Rightarrow U &= \frac{\tau_{1o} - t_1}{t_1 - t_2}; \quad (31) \end{aligned}$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

□ Выразим τ_{1o} из уравнения 31 с учетом уравнений 28 и 29:

$$U = \frac{\tau_{1o} - t_1}{t_1 - t_2}; \quad (31) \quad t_2 = t_1 - (t'_1 - t'_2) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_t}; \quad (28)$$

$$\tau_{1o} = t_1 + \cancel{U}t_1 - \cancel{U}t_1 + U(t'_1 - t'_2) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_t}; \quad \boxed{\tau_{1o} = t_1 + U(t'_1 - t'_2) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_t}}$$

$$t_1 = t'_e + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} + 0,5(t'_1 - t'_2) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_t}; \quad (29)$$

$$\boxed{\tau_{1o} = t'_e + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} + (0,5 + U) \cdot (t'_1 - t'_2) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_t}} \quad (32)$$

$$\boxed{\tau_{2o} = t_2 = t'_e + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} - 0,5(t'_1 - t'_2) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_t}} \quad (33)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Величина n , входящая в показатели степени в уравнениях 29, 30 и 32, 33, зависит от типа нагревательных приборов и способа их подключения к трубопроводам системы отопления. Она определяется в результате теплотехнических испытаний нагревательных приборов.
- ❑ При центральном регулировании температуры воды ориентируются на тип нагревательного прибора, наиболее распространённый у потребителей. За такой «типовой» прибор обычно принимают чугунный радиатор с движением воды в нем «сверху вниз».
- ❑ Для чугунных радиаторов типа М-140АО, МС-140М-500, МС-110-50 показатель степени $n = 0,32$; для старых моделей радиаторов типа «Гамма», «Польза» — $n = 0,25$.
- ❑ Показатель степени $n = 0,32$ имеют также стальные штампованные радиаторы и конвекторы «Прогресс» и аналогичные им.
- ❑ В зависимости от преобладающих типов нагревательных приборов в зданиях сложившейся застройки рекомендуется принимать $n = 0,25 \dots 0,32$.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Рассмотрим случай центрального КАЧЕСТВЕННОГО несвязанного регулирования нагрузки отопления для зависимой схемы присоединения систем отопления через узел подмешивания. В этом случае в уравнениях 29, 32, 33 относительный расход теплоносителя равен 1 и уравнения регулирования предстанут в следующем виде:

$$t_1 = t_{\epsilon}^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} + 0,5(t'_1 - t'_2) \cdot \bar{Q}_0$$

$$\tau_{1o} = t_{\epsilon}^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} + (0,5 + U) \cdot (t'_1 - t'_2) \cdot \bar{Q}_0$$

$$\tau_{2o} = t_2 = t_{\epsilon}^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} - 0,5(t'_1 - t'_2) \cdot \bar{Q}_0$$

- Коэффициент подмешивания U считается по формуле 31 по расчётным значениям температур при $t_{н.о.р}$; n можно принять 0,25 или 0,32.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

□ **Задача регулирования в данном случае состоит:**

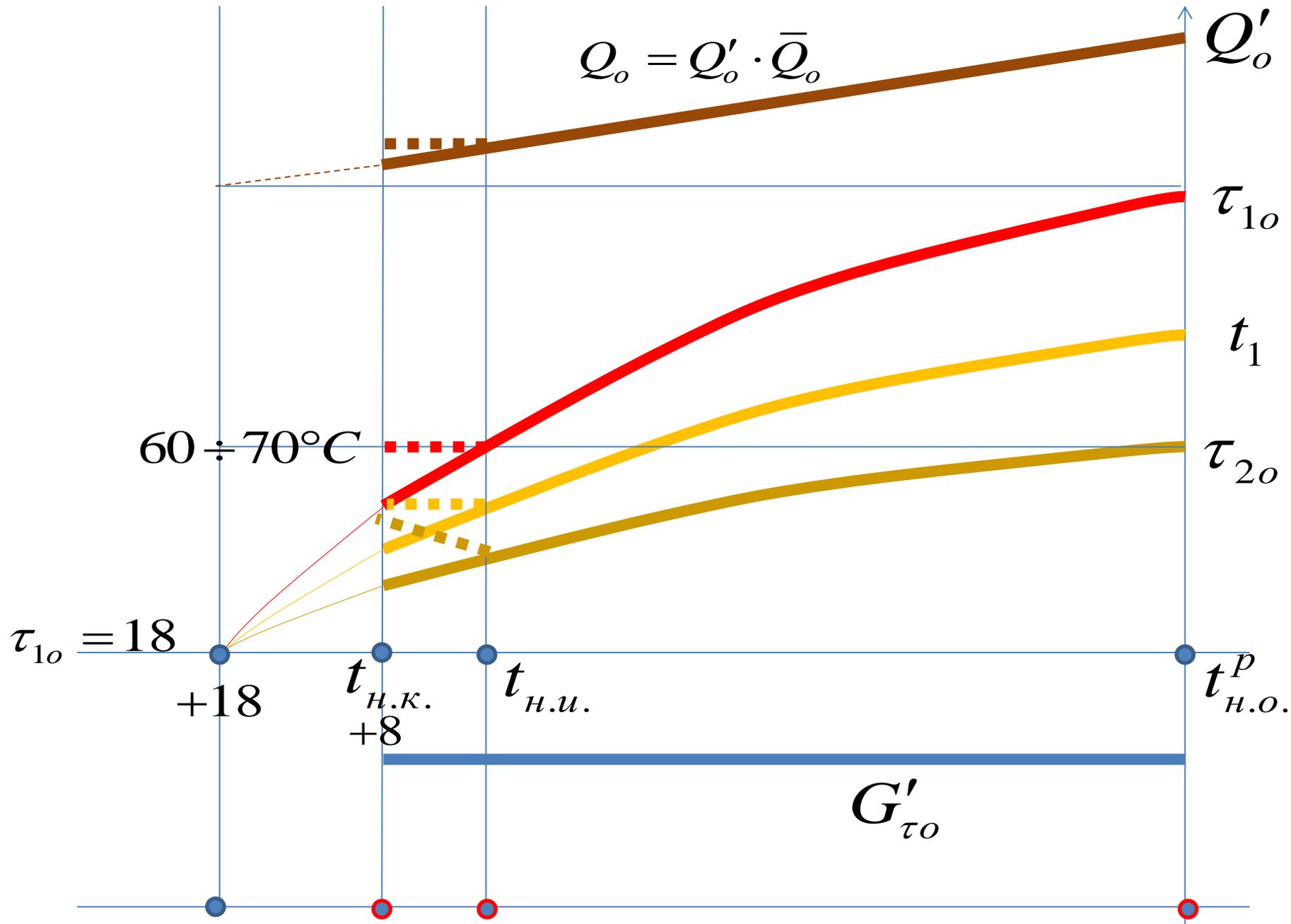
- в построении графика изменения температур в тепловой сети и в системе отопления в зависимости от температуры наружного воздуха;
- в построении графика расхода теплоносителя в тепловой сети на нужды отопления в зависимости от температуры теплоносителя в подающей магистрали.

□ Расход теплоносителя в тепловой сети при качественном регулировании является постоянным и равным расчётному (при температуре наружного воздуха расчётной для отопления). **Расход вычисляется по формуле:**

$$G'_{\tau_0} = \frac{Q'_o}{c \cdot (\tau'_{1o} - \tau'_{2o})}$$

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Построим в зависимости от температуры наружного воздуха:
 - графики изменения тепловой нагрузки Q_0 ;
 - графики изменения температур теплоносителя в магистральных тепловых сетях, а также на входе/выходе системы отопления;
 - график расхода воды в тепловой сети на нужды отопления



ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Осуществлять центральное качественное регулирование нагрузки отопления во всем диапазоне наружных температур отопительного периода **можно лишь при отсутствии в системе других видов теплового потребления**: горячего водоснабжения, вентиляции.
- ❑ В противном случае, при достижении теплоносителем в подающей магистрали температуры в $60 \div 70$ °С дальнейшее снижение его температуры по графику качественного регулирования становится невозможным. **Удержание температуры в подающей магистрали на уровне $60 \div 70$ °С приводит к перерасходу теплоты и к перегреву помещений.**
- ❑ В этом случае необходим переход от центрального качественного регулирования **к другим методам и способам регулирования** нагрузки отопления с целью обеспечения требуемой величины теплового потребления.

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Рассмотрим случай центрального КОЛИЧЕСТВЕННОГО несвязанного регулирования нагрузки отопления для зависимой схемы присоединения систем отопления через узел подмешивания.
- При количественном регулировании температура теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети постоянна и равна расчётной. Регулирование тепловой нагрузки осуществляется изменением расхода теплоносителя.
- Задачей расчёта является определение расхода и температуры теплоносителя, поступающего из подающей магистрали тепловой сети к узлу смешения, в зависимости от температуры наружного воздуха.
- В этом случае необходимо, с учётом постоянства коэффициента помешивания, выразить в явном виде относительный расход теплоносителя из уравнения 32.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Поскольку коэффициент подмешивания $U = const$ постоянен при всех режимах работы, то справедлива следующая замена:

$$U = W_{подм.} / W_{\tau o} = (W_t - W_{\tau o}) / W_{\tau o} \Rightarrow W_t = W_{\tau o} (1 + U) \Rightarrow$$

$$\bar{W}_t = \frac{W_t}{W'_t} = \frac{W_{\tau o} (1 + U)}{W'_{\tau o} (1 + U)} = \frac{W_{\tau o}}{W'_{\tau o}} = \bar{W}_{\tau o} \Rightarrow$$

тогда уравнение 32 примет вид:

$$\tau_{1o} = t_e^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} + (0,5 + U) \cdot (t'_1 - t'_2) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_{\tau o}} \quad (32')$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Умножим числитель и знаменатель крайней правой дроби в последнем уравнении 32' на комплекс:

$$W'_{\tau o} (1+U)$$

тогда:

$$\tau_{1o} = t_e^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} + (0,5 + U) \cdot (t'_1 - t'_2) \cdot \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}'_{\tau o}} \cdot \frac{W'_{\tau o} (1+U)}{W'_{\tau o} (1+U)}$$

Примем во внимание, что:

$$(t'_1 - t'_2) \cdot W'_{\tau o} (1+U) = Q'_o; \quad \frac{Q'_o}{W'_{\tau o}} = (\tau'_{1o} - \tau'_{2o})$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

□ Тогда в итоге:

$$\tau_{1o} = t_e^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} + (\tau'_{1o} - \tau'_{2o}) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_{\tau o}} \cdot \frac{(0,5 + U)}{(1 + U)} \quad (34)$$

□ Откуда получим для расчёта количественного регулирования:

$$\bar{W}_{\tau o} = \frac{(0,5 + U) \cdot (\tau'_{1o} - \tau'_{2o}) \cdot \bar{Q}_o}{(1 + U) \cdot (\tau'_{1o} - t_e^p - \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}})} \quad (35)$$

При количественном регулировании величина τ_{1o} в уравнении 35 принимается постоянной и равной расчётному значению.

Расчётным служит то значение τ_{1o} , которое использовалось при вычислении наибольшего расхода теплоносителя при наибольшей тепловой нагрузке избранного диапазона количественного регулирования

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Задачей расчётов при **КОЛИЧЕСТВЕННОМ** регулировании однородной нагрузки отопления является:
 - вычисление расходов теплоносителя, поступающего в систему отопления из тепловой сети, для каждого значения температуры наружного воздуха;
 - вычисление температур теплоносителя в обратной магистрали тепловой сети для каждого значения расхода теплоносителя.
- Расходы вычисляются по формуле для каждого значения W :

$$G_{\tau_o} = \frac{Q'_o}{c \cdot (\tau'_{1o} - \tau'_{2o})} \cdot \bar{W}_{\tau_o}$$

где относительный эквивалент W_{τ_o} вычисляется по формуле 35.

- Температура в обратной магистрали вычисляется по формуле, полученной по аналогии с уравнением (28):

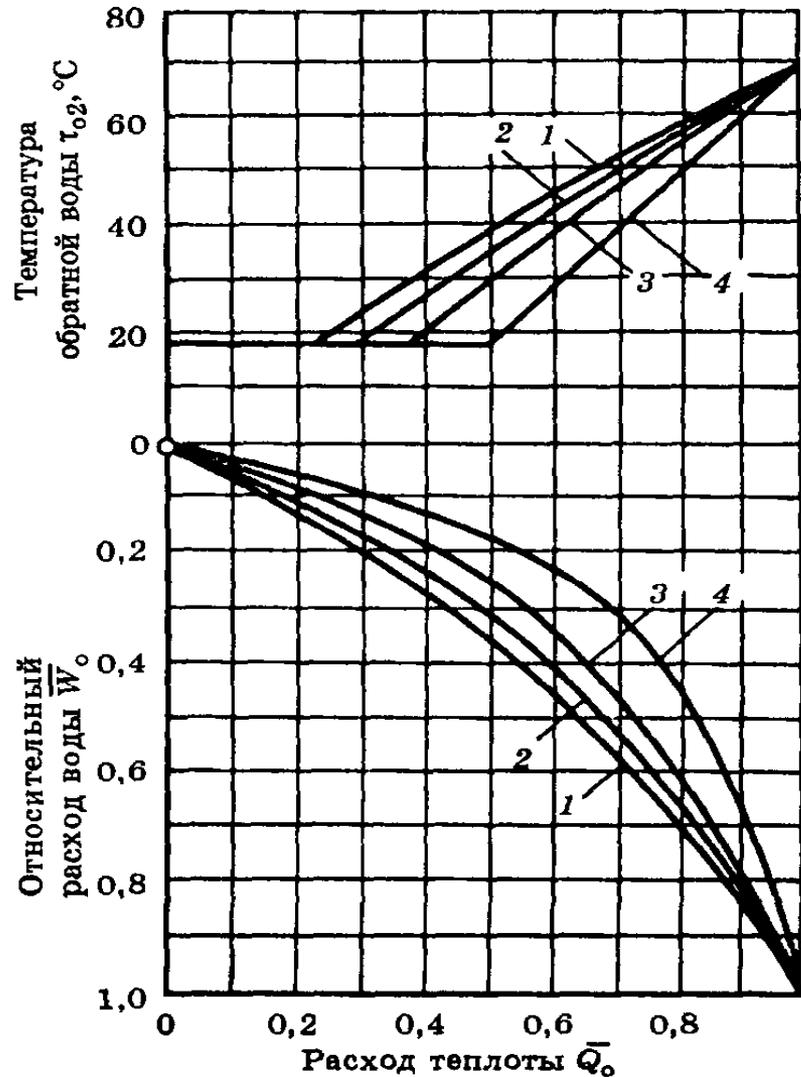
$$\tau_{2o} = \tau'_{1o} - (\tau'_{1o} - \tau'_{2o}) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_{\tau_o}}; \quad (36)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Графики количественного регулирования нагрузки отопления

- При температуре теплоносителя в подающей магистрали, °С :
1 – **150**, 2 – **130**, 3 – **110**, 4 – **95**
- Расчётная температуры на входе и выходе системы отопления соответственно **95** и **70** °С.
- Температура воздуха в отапливаемых помещениях **18** °С
- Если t_{2o} получается по расчёту меньшей 18 °С, то принимается, что $t_{2o} = 18$ °С



ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Осуществлять центральное КОЛИЧЕСТВЕННОЕ регулирование нагрузки отопления при ЗАВИСИМЫХ схемах присоединения отопительных установок путем снижения расхода теплоносителя в тепловой сети **можно лишь до некоторой предельной минимальной величины расхода**, ниже которой наступает нарушение гидравлического режима систем отопления и их разрегулировка.
- ❑ В этом случае необходим переход к другим методам и способам регулирования нагрузки отопления с целью обеспечения требуемой величины теплового потребления, например, к регулированию пропусками или к количественно-качественному регулированию.
- ❑ Эта проблема может быть также решена путем сохранения необходимого объема теплоносителя, циркулирующего в системах отопления, **за счет увеличения коэффициента подмешивания** в узлах смешения с помощью элеваторов с управляемым соплом или подмешивающих насосов с переменным расходом.

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Рассмотрим случай центрального КОЛИЧЕСТВЕННО-КАЧЕСТВЕННОГО несвязанного регулирования нагрузки отопления для зависимой схемы присоединения систем отопления через узел подмешивания.
- При таком регулировании температура и расход теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети одновременно и синхронно изменяются по определённому закону.
- Задачей расчёта является вычисление расходов и температур теплоносителя, поступающего из подающей магистрали тепловой сети к узлу смешения, в зависимости от температуры наружного воздуха.
- Для расчётов используются ранее полученные уравнения.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

□ В ранее найденные следующие уравнения

$$\tau_{1o} = t_{\epsilon}^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} + (0,5 + U) \cdot (t'_1 - t'_2) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_{\tau o}};$$

$$\tau_{2o} = t_{\epsilon}^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} - 0,5 \cdot (t'_1 - t'_2) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_{\tau o}};$$

вместо относительного расхода подставим выражение:

$$\bar{W}_{\tau o} = \bar{Q}_o^{m_r}$$

и в итоге получим

$$\tau_{1o} = t_{\epsilon}^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} + (0,5 + U) \cdot (t'_1 - t'_2) \bar{Q}_o^{1-m} \quad (37)$$

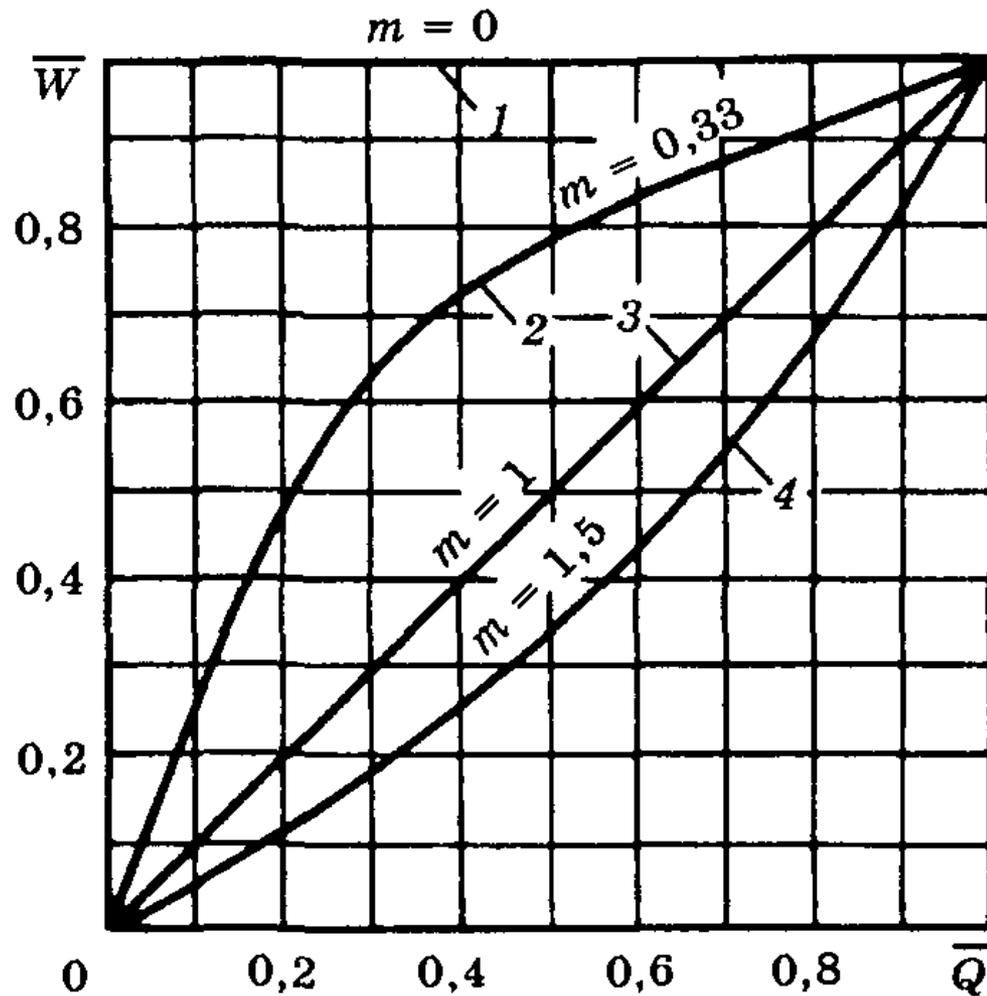
$$\tau_{2o} = t_{\epsilon}^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} - 0,5 \cdot (t'_1 - t'_2) \bar{Q}_o^{1-m} \quad (38)$$

Теплоснабжение

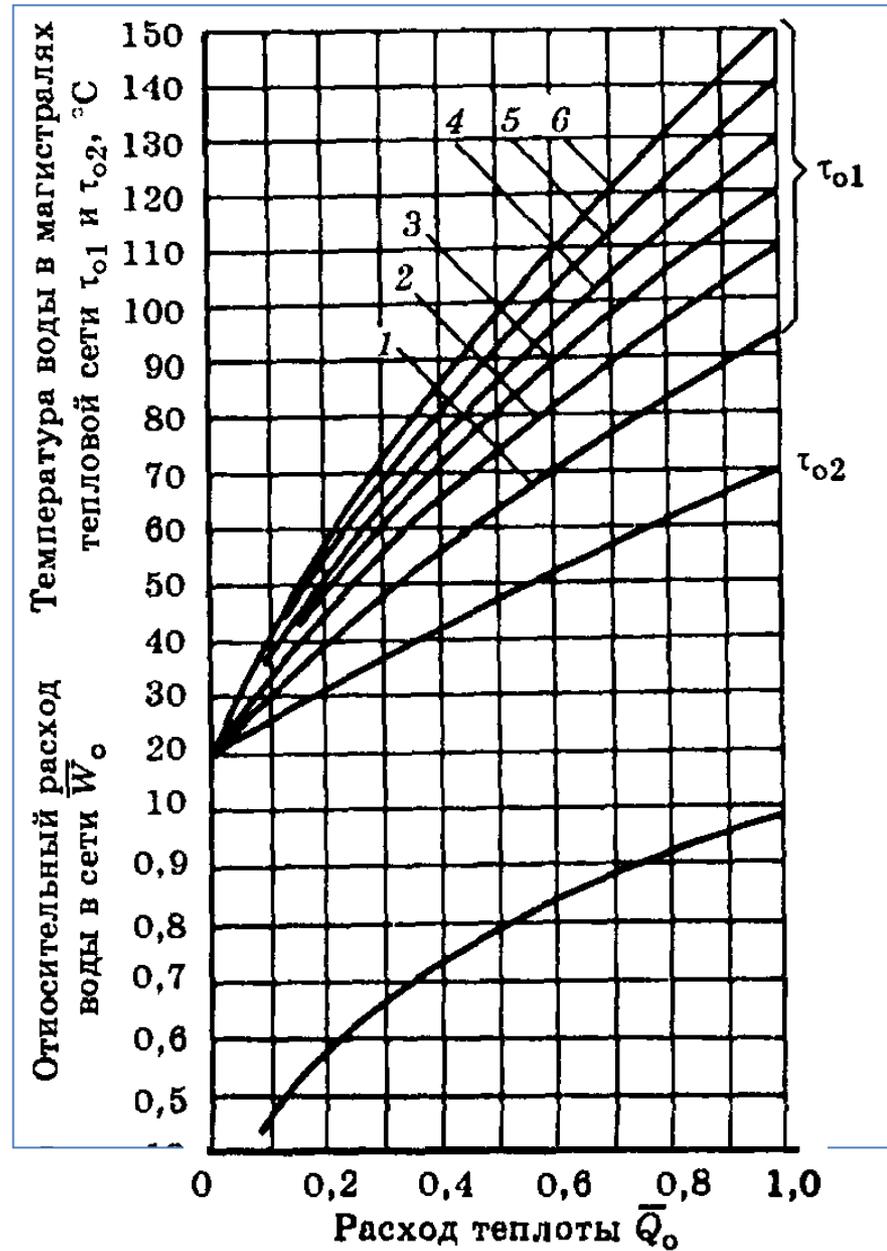
ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Зависимость $\overline{W}_{\tau o} = \overline{Q}_o^{m_r}$ при различных m_r выражается графиком:

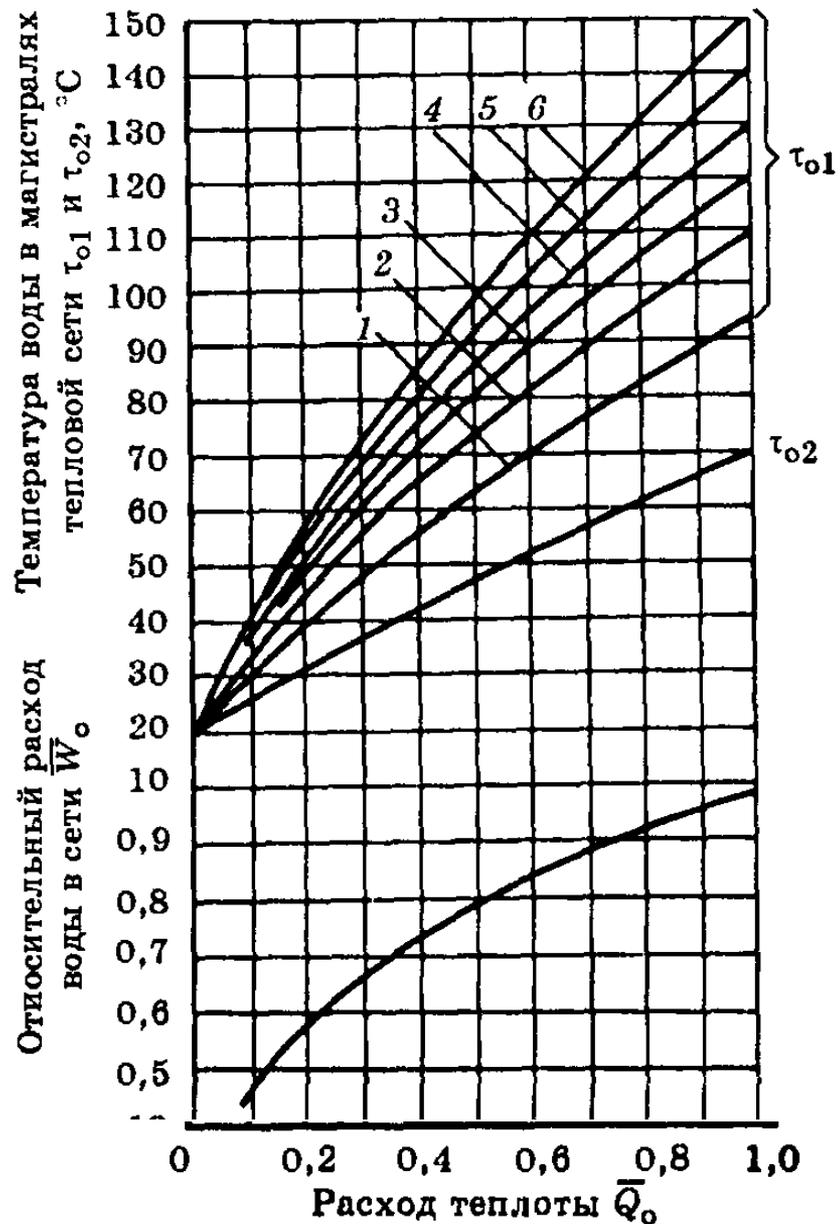
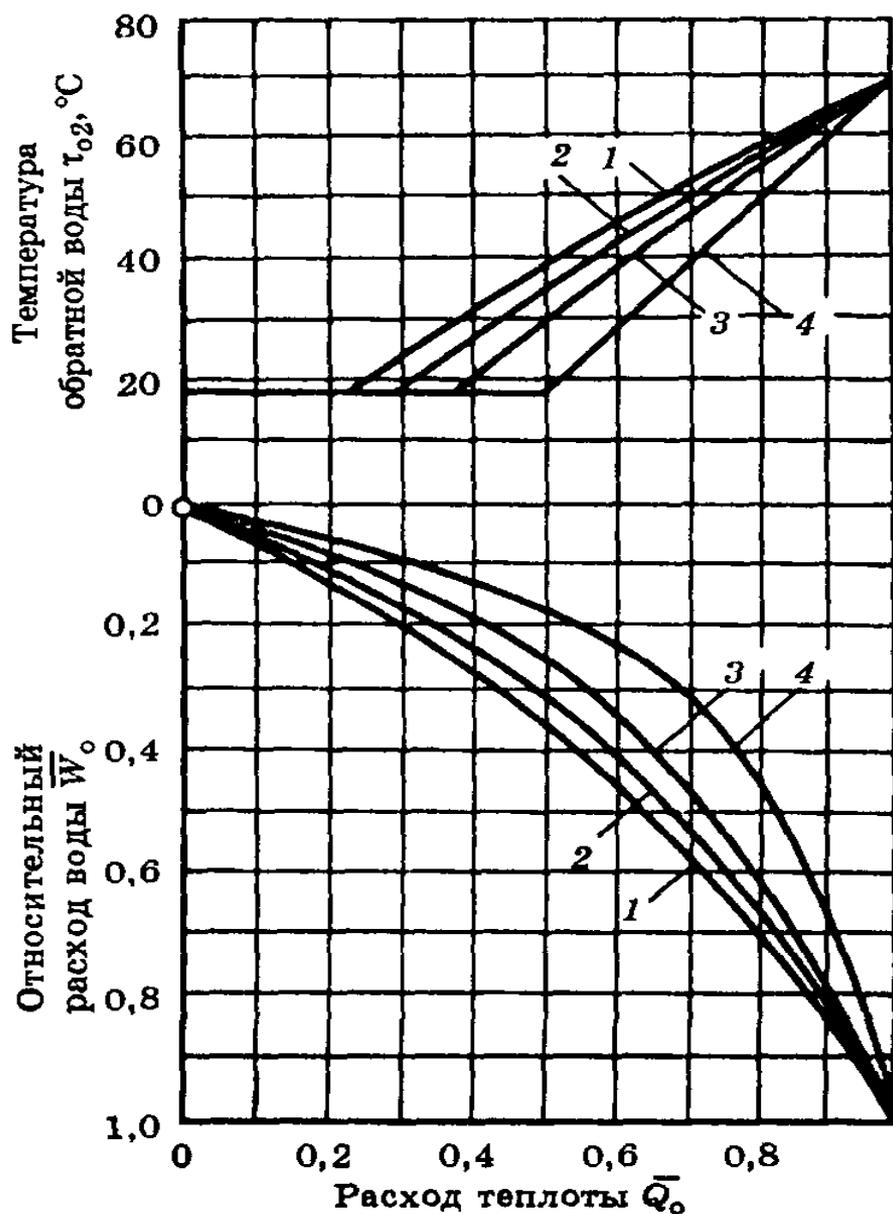
- При различных значениях показателя степени m_r законы изменения расхода теплоносителя получаются различными.
- Можно выбрать такой закон, при котором разрегулировка систем отопления в результате изменения расходов и температур теплоносителя через отопительные приборы будет минимальной.
- Экспериментально установлено, что такой закон соответствует показателю степени $m_r = 0,33$



Графики количественно-качественного регулирования



Сравнение количественного и количественно-качественного регулирования



ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Переменный расход сетевой воды при количественном и качественно-количественном регулировании можно организовать следующими способами: **изменением числа оборотов насосов; изменением числа параллельно работающих насосов; установкой на теплоисточнике насосов с различными характеристиками.**
- ❑ Наиболее экономичным является регулирование производительности насосов изменением числа их оборотов . При таком регулировании зависимость расхода воды в тепловой сети от располагаемого напора на источнике будет наиболее близка к расчетной и удастся избежать дросселирования избыточных давлений.
- ❑ Плавное изменение расхода воды в отсутствие регулируемых частотных приводов осуществить сложно, **поэтому его заменяют ступенчатым регулированием: отопительный сезон делится на несколько диапазонов, в каждом из которых поддерживается постоянный расход воды.**

Теплоснабжение

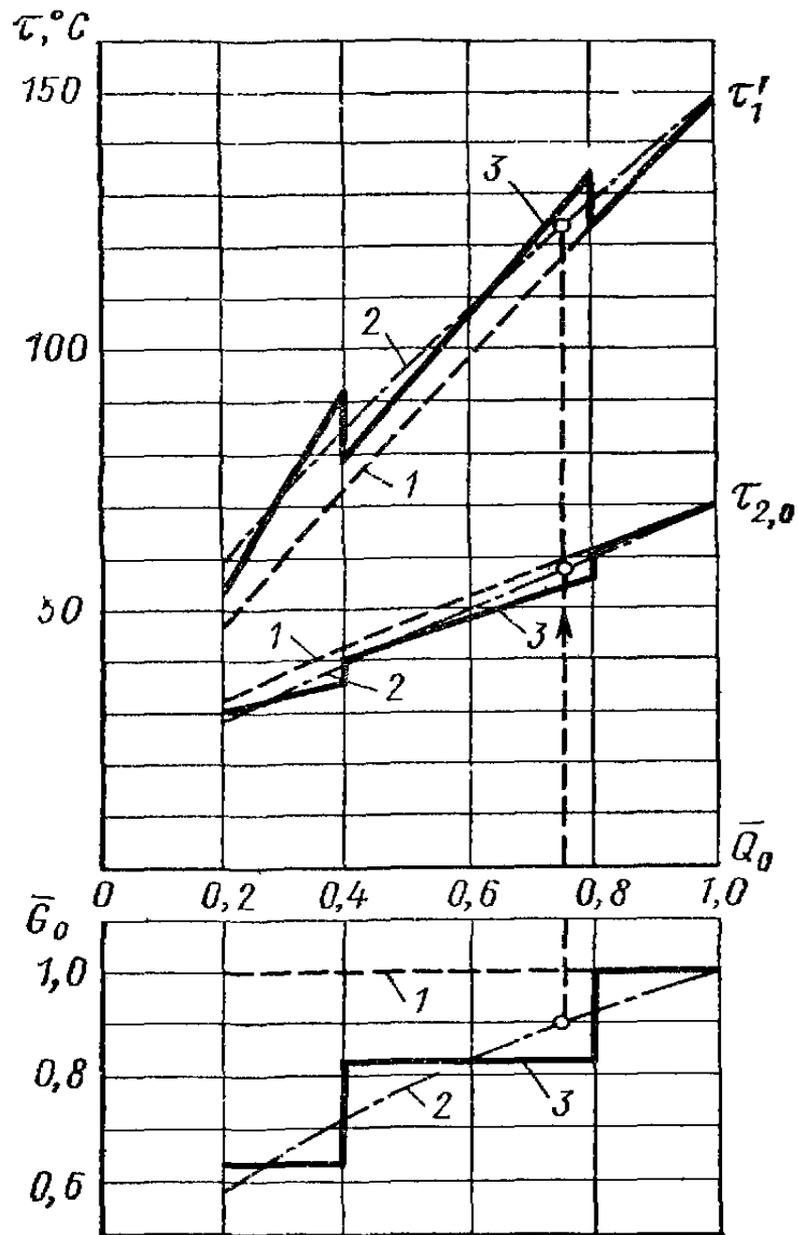
ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ При повышении температуры наружного воздуха расход воды снижается. Переменный расход обеспечивается работой нескольких насосов с различной производительностью.
- ❑ Ступенчатое изменение расхода сетевой воды приводит к ступенчатому изменению температуры. При уменьшении расхода воды температура в подающем трубопроводе должна быть выше, а в обратной линии несколько ниже, чем при отопительном графике.

Применение количественного и качественно-количественного регулирования снижает расход электроэнергии на перекачку теплоносителя.

График качественно-количественного регулирования отопительной нагрузки при ступенчатом изменении расхода теплоносителя в сети

- 1 — отопительный график;
- 2 — качественно-количественное регулирование при плавном изменении расхода воды;
- 3 — качественно-количественное регулирование при ступенчатом изменении расхода воды



ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

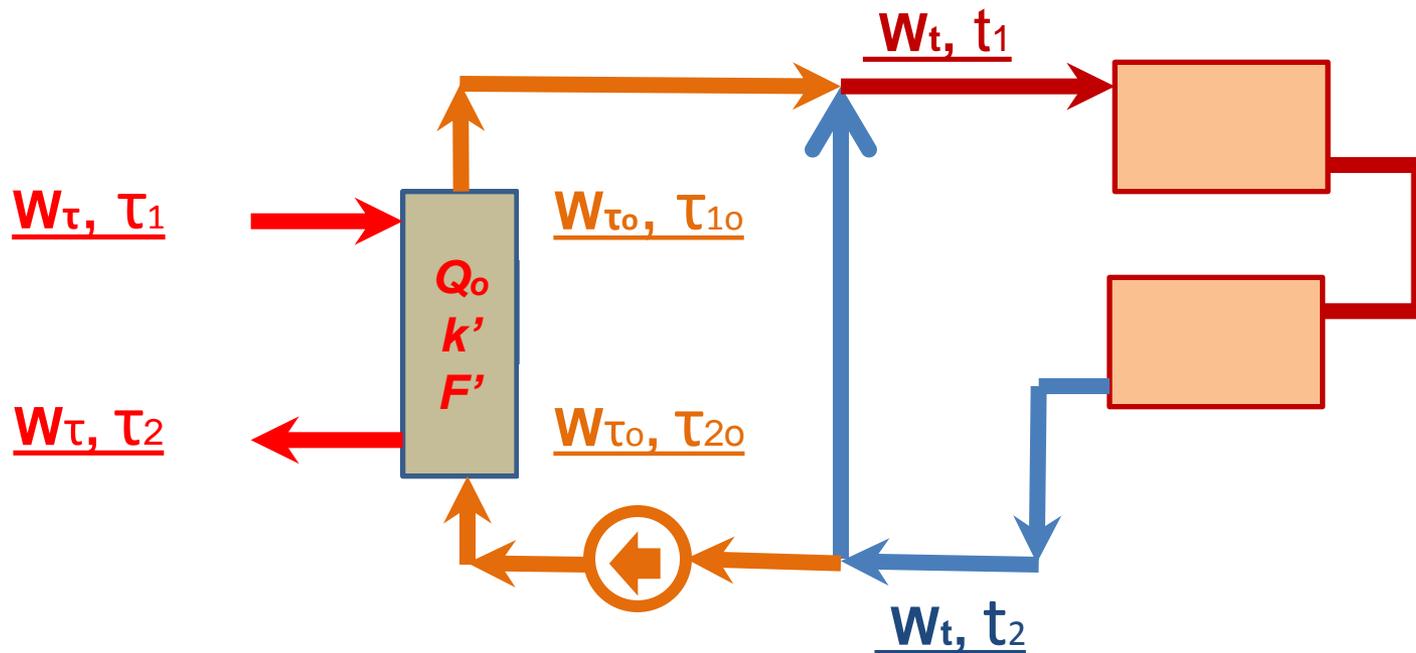
- ❑ Центральное КОЛИЧЕСТВЕННО-КАЧЕСТВЕННОЕ регулирование нагрузки отопления при ЗАВИСИМЫХ схемах присоединения отопительных установок **обладает достоинствами как качественного, так и количественного регулирования**, однако его организация сопряжена со сложным согласованием между собой температур и расходов теплоносителя. Кроме того, снижение расходов теплоносителя через нагревательные приборы при количественных методах регулирования в конечном итоге обязательно ведет к нестабильности гидравлических и тепловых режимов: вертикальной и горизонтальной разрегулировке систем отопления
- ❑ Эта проблема решается путём применения НЕЗАВИСИМЫХ схем присоединения отопительных установок к тепловым сетям.

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ **Рассмотрим случаи центрального несвязанного регулирования нагрузки отопления для НЕЗАВИСИМОЙ схемы присоединения систем отопления.**
- ❑ **Возможны два принципиальных варианта такого регулирования:**
 - **1) производится качественное или количественное регулирование тепловой нагрузки путём изменения температуры и расхода первичного теплоносителя при неизменном расходе вторичного теплоносителя в системе отопления.**
 - **2) регулирование параметров первичного теплоносителя дополняется регулированием расхода вторичного теплоносителя путём изменения подачи циркуляционного насоса системы отопления**
- ❑ **Для расчётов таких методов регулирования используются ранее полученные уравнения, но модифицированные для этих конкретных случаев.**

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок



$$\tau_{1o} = t_{\epsilon}^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} + (\tau'_{1o} - \tau'_{2o}) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_{\tau_o}} \cdot \frac{(0,5 + U)}{(1 + U)}$$

$$\tau_{2o} = t_2 = t_{\epsilon}^p + \Delta t'_{cp} \cdot \bar{Q}_0^{\frac{1}{n+1}} - 0,5(t'_1 - t'_2) \frac{\bar{Q}_o}{\bar{W}_{\tau_o}}$$

$$Q = \varepsilon \cdot W_m \cdot (\tau_1 - \tau_{2o}) \quad (39)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Температуры во вторичных контурах системы отопления определяются на основе ранее найденных уравнений.
- Температуру во внешнем контуре можно найти по формуле (39), выразив из неё в явном виде температуру первичного теплоносителя в подающей магистрали тепловой сети τ_1 , а температуру в обратной магистрали – из уравнения (1) теплового баланса. В итоге для общего случая получим:

$$\tau_1 = \tau_{2o} + \frac{Q'_o \cdot \bar{Q}_o}{\varepsilon \cdot W_m} \quad (40)$$

$$\tau_2 = \tau_1 - \frac{Q'_o \cdot \bar{Q}_o}{W'_{\tau o} \cdot \bar{W}_{\tau o}} \quad (41)$$

- Уравнения 40 и 41 **при качественном регулировании** могут быть сведены к виду:

$$\tau_1 = \tau_{1o} + (\tau'_{1o} - \tau'_{2o}) \cdot \left(\frac{W_{\tau o}}{W_m} \cdot \frac{1}{\varepsilon_T} - 1 \right) \cdot \bar{Q}_o \quad (42)$$

$$\tau_2 = \tau_{2o} + (\tau'_1 - \tau'_2) \cdot \left(\frac{W_{\tau o}}{W_m} \cdot \frac{1}{\varepsilon_T} - 1 \right) \cdot \bar{Q}_o \quad (43)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Входящая в уравнения 40 – 43 удельная безразмерная тепловая производительность отопительного теплообменника ε_T при качественном регулировании является постоянной величиной и в общем виде вычисляется по формуле (16),
- ❑ Входящий в неё параметр ω (NTU) определяется по формуле (15) и зависит от типа и характеристик теплообменного аппарата, а в конечном итоге – от изменения в нем коэффициентов теплопередачи в зависимости от расходов теплоносителей.
- ❑ Экспериментами установлено, что для водо-водяных теплообменников влияние этих факторов описывается уравнением:

$$\omega = kF / W_m = \omega' \cdot \bar{W}_\tau^{m_1} \cdot \bar{W}_{\tau 0}^{m_2} / \bar{W}_m, \quad (44)$$

причем, показатели степеней $m_1 = m_2 = 0,5$.

В уравнении (44) ω' – это NTU для расчетного, основного, режима работы теплообменника.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

□ Преобразуем уравнение 44 в следующий вид:

$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{kF \cdot W'_m}{W_m \cdot k'F} = \frac{\sqrt{W_m \cdot W_{\delta}}}{\sqrt{W'_m \cdot W'_{\delta}}} \cdot W'_m \Rightarrow \frac{kF}{\sqrt{W_m \cdot W_{\delta}}} = \frac{k'F}{\sqrt{W'_m \cdot W'_{\delta}}} = \Phi = const$$

□ Полученная величина Φ называется параметром теплообменника, отнесённым к расчётному режиму.

□ Из последних уравнений получаем:

$$\omega = \Phi \sqrt{W_m \cdot W_{\delta}} \cdot \frac{1}{W_m} \Rightarrow \omega = \Phi \sqrt{W_{\delta} / W_m} \quad (45)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

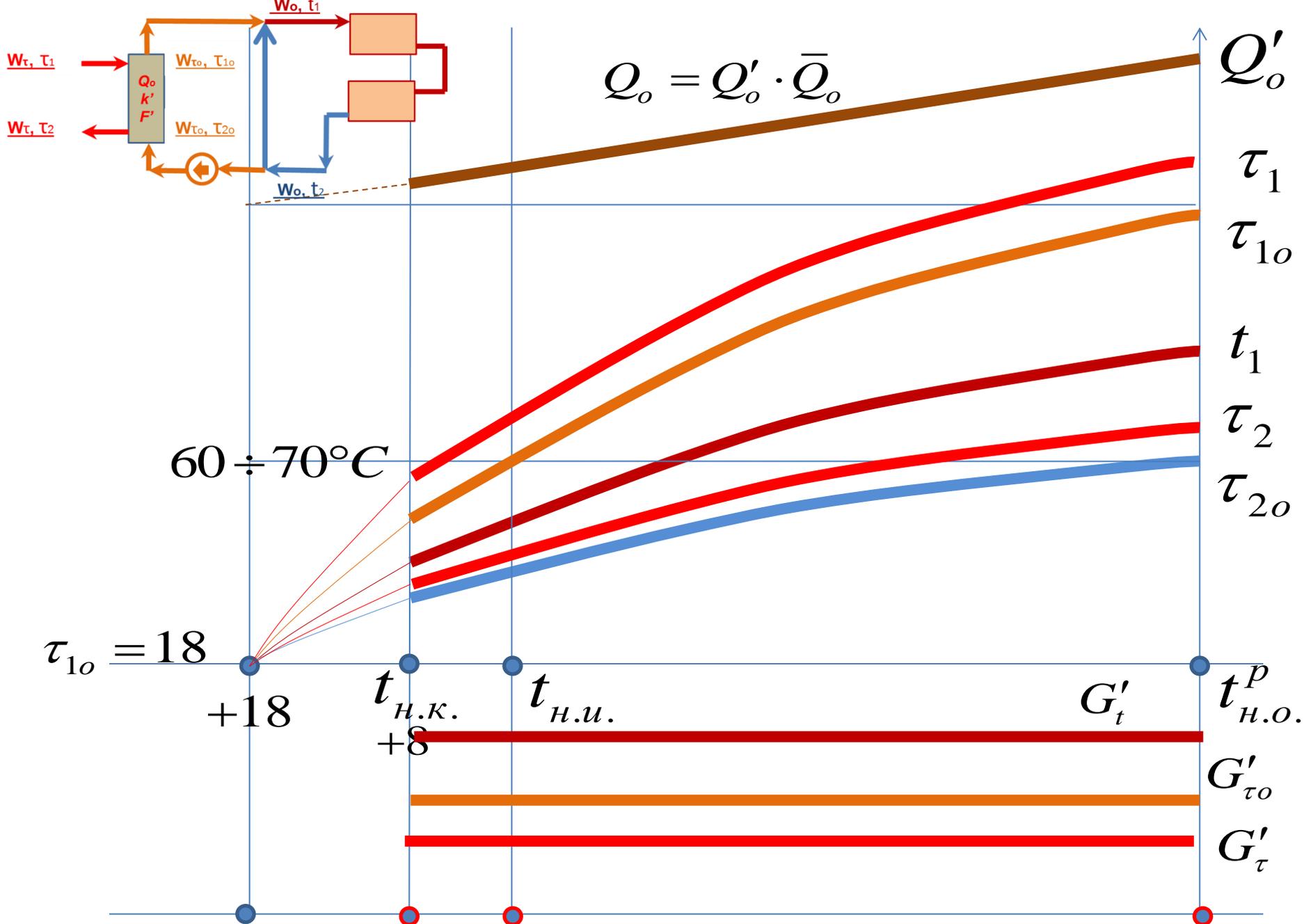
- Подставив уравнение (45) в уравнение (16), получим для ε при противотоке:

$$\varepsilon = \frac{1}{0,35 \frac{W_m}{W_b} + 0,65 + \frac{1}{\Phi} \cdot \sqrt{\frac{W_m}{W_b}}} \leq 1 \quad (46)$$

- Значение Φ вычисляется для расчётного режима следующим образом:

$$\Phi = \frac{k'F}{\sqrt{W'_m \cdot W'_b}} = \frac{k'F}{\sqrt{W'_m \cdot W'_b}} \cdot \frac{Q'_o}{Q'_o} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\Delta t'_{cp} \Delta t'_{cp}}{(\tau'_1 - \tau'_2) \cdot (\tau'_{1o} - \tau'_{2o})}}}$$

$$\Phi = \frac{\sqrt{(\tau'_1 - \tau'_2) \cdot (\tau'_{1o} - \tau'_{2o})}}{\Delta t'_{cp}} \quad (47)$$



Центральное качественное регулирование нагрузки отопления при независимой схеме

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Центральное регулирование нагрузки отопления при НЕЗАВИСИМЫХ схемах присоединения отопительных установок отличается высокой стабильностью гидравлических режимов и **позволяет изменять температуры и расходы теплоносителя в тепловой сети в широком диапазоне значений, что обеспечивает большую глубину регулирования**, однако его организация требует специального дорогостоящего оборудования тепловых пунктов потребителей: отопительных теплообменников, циркуляционных, подмешивающих насосов и устройств для подпитки внутреннего отопительного контура.
- ❑ Поэтому независимое подключение отопительных теплообменников производится для отдельных абонентов: высотных зданий, крупных центров общественного назначения и вопросы регулирования тепловой нагрузки в этом случае решаются с учётом специфики теплового потребления этих абонентов.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Нагрузки отопления, горячего водоснабжения, вентиляции, производственные нагрузки при реализации принципа несвязанного регулирования регулируются отдельно и не связаны с объемом потребления теплоты на нужды отопления.
- ❑ Однако, как правило, **теплоноситель подается из тепловой сети в установки горячего водоснабжения и вентиляции по температурному графику, установленному для систем отопления в соответствии с ранее полученными уравнениями регулирования.**
- ❑ **Задача регулирования** тепловых нагрузок вентиляции и горячего водоснабжения заключается **в определении расходов теплоносителя через теплообменные устройства и температуры обратной воды** после них при любых температурах наружного воздуха.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

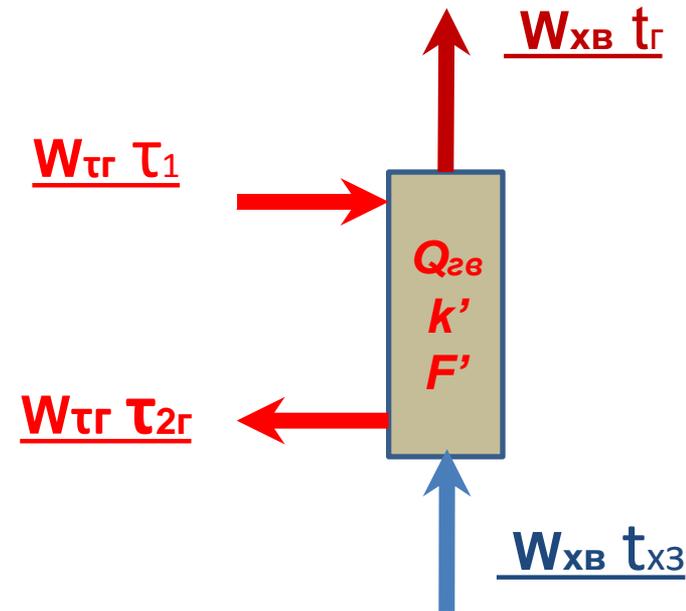
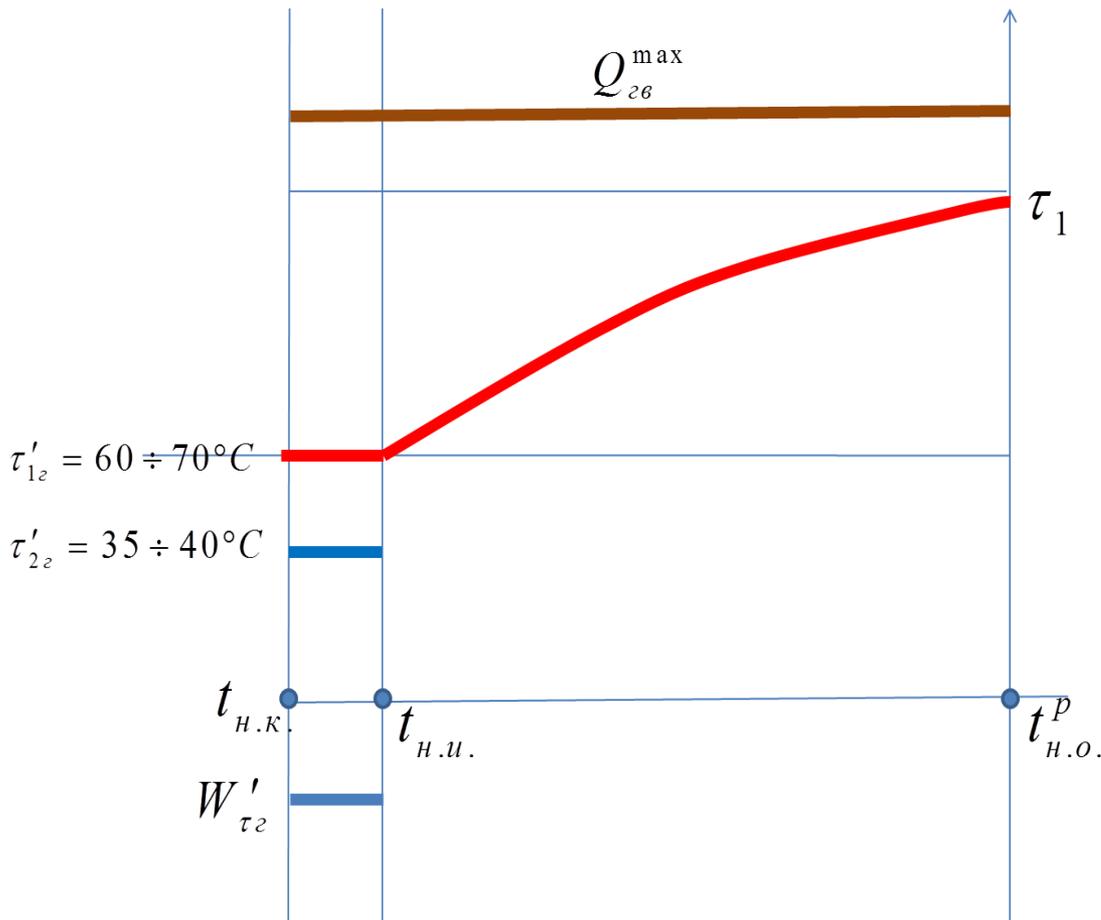
- ❑ Рассмотрим регулирование тепловой нагрузки **ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ** в **ЗАКРЫТЫХ** системах теплоснабжения при **НЕСВЯЗАННОМ** принципе регулирования.
- ❑ Методика расчета регулирования **зависит от схемы подключения подогревателей горячего водоснабжения**, которая чаще всего при несвязанном регулировании бывает одноступенчатой параллельной или двухступенчатой смешанной.
- ❑ Выбор схемы подключения подогревателей **определяется соотношением нагрузок горячего водоснабжения и отопления в тепловой сети** и производится в соответствии с требованиями ТКП-182 и ТКП-183.
- ❑ Применение одноступенчатых схем присоединения **ДОПУСКАЕТСЯ при следующих соотношениях** максимального расхода теплоты на горячее водоснабжение к максимальному расходу теплоты на отопление:

$$\frac{Q_{h\max}}{Q_{o\max}} < 0,2; \quad \frac{Q_{h\max}}{Q_{o\max}} > 1$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Рассмотрим регулирование тепловой нагрузки горячего водоснабжения в **ЗАКРЫТЫХ** системах теплоснабжения при **НЕСВЯЗАННОМ** принципе регулирования и **ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ** схеме подключения подогревателей.



Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- При расчёте подогревателей ГВ в качестве расчётных принимаются:
 - расход **нагреваемой воды** – постоянным и равным максимальному
 - расчётная температура **греющего теплоносителя на входе** в подогреватель ГВ – равной температуре в подающей магистрали тепловой сети в точке излома температурного графика;
 - расчётная температура **греющего теплоносителя на выходе** из подогревателя – на $35 \div 40^\circ\text{C}$ ниже, чем на входе;
 - расчётные температуры **нагреваемой воды** являются постоянными во всем диапазоне изменения температур наружного воздуха и равны на входе и выходе подогревателя соответственно 5°C и 60°C .

$$\tau'_{12} = 70^\circ\text{C}, \quad \tau'_{22} = \tau'_{12} - 35 \div 40^\circ\text{C};$$

$$t_2 = 60^\circ\text{C}, \quad t_{x3} = 5^\circ\text{C}$$

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Выведем уравнения для определения расходов греющего теплоносителя и его температуры на выходе из подогревателя ГВ в зависимости от температуры наружного воздуха. Для этого примем за основу концепцию, заложенную в уравнениях 44 и 47 и заменим входящие в них величины на относящиеся к подогревателю горячего водоснабжения:

$$\frac{kF}{\sqrt{W_{\tau_2} \cdot W_{xв}}} = \frac{k'F}{\sqrt{W'_{\tau_2} \cdot W'_{xв}}} = \Phi = const$$

$$\Phi = \frac{\sqrt{(\tau_1 - \tau_{2г}) \cdot (t_2 - t_{x3})}}{\Delta t_{cp}} = \Phi' = \frac{\sqrt{(\tau'_{1г} - \tau'_{2г}) \cdot (t_2 - t_{x3})}}{\Delta t'_{cp}} \quad (48)$$

$$\frac{kF}{\sqrt{W_{\tau_2} \cdot W_{xв}}} \Bigg/ \frac{k'F}{\sqrt{W'_{\tau_2} \cdot W'_{xв}}} = 1; \quad \frac{\sqrt{(\tau_1 - \tau_{2г}) \cdot (t_2 - t_{x3})}}{\Delta t_{cp}} \Bigg/ \frac{\sqrt{(\tau'_{1г} - \tau'_{2г}) \cdot (t_2 - t_{x3})}}{\Delta t'_{cp}} = 1$$

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

□ Из последних соотношений справедливо равенство:

$$\frac{\Delta t'_{cp}}{\Delta t_{cp}} \cdot \frac{\sqrt{(\tau_1 - \tau_{22}) \cdot (t_2 - t_{x3})}}{\sqrt{(\tau'_{12} - \tau'_{22}) \cdot (t_2 - t_{x3})}} = 1;$$

$$\Delta t_{cp} = 0,5(\tau_1 + \tau_{22}) - 0,5(t_2 + t_{x3});$$

$$\Delta t'_{cp} = 0,5(\tau'_{12} + \tau'_{22}) - 0,5(t_2 + t_{x3});$$

$$\frac{\tau'_{12} + \tau'_{22} - t_2 - t_{x3}}{\tau_1 + \tau_{22} - t_2 - t_{x3}} \cdot \frac{\sqrt{(\tau_1 - \tau_{22})}}{\sqrt{(\tau'_{12} - \tau'_{22})}} = 1 \quad (49)$$

Расход греющего теплоносителя равен:

$$W_{\tau_2} = Q_{2в}^{\max} / (\tau_1 - \tau_{22}) \quad (50)$$

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

$$\frac{\tau'_{12} + \tau'_{22} - t_2 - t_{x3}}{\tau_1 + \tau_{22} - t_2 - t_{x3}} \cdot \frac{\sqrt{(\tau_1 - \tau_{22})}}{\sqrt{(\tau'_{12} - \tau'_{22})}} = 1 \quad (49)$$

$$W_{\tau_2} = Q_{2B}^{\max} / (\tau_1 - \tau_{22}) \quad (50)$$

□ Порядок расчёта следующий:

- задаются значением наружной температуры и определяют соответствующее ей значение температуры в подающей магистрали тепловой сети τ_1 при избранном методе регулирования отопительной нагрузки;
- методом подстановки решают уравнение 49 относительно τ_{22} ;
- подставив в уравнение 50 полученное выше значение τ_{22} , вычисляют эквивалент расхода греющего теплоносителя через нагреватель ГВ;
- строят графики

График регулирования нагрузки ГВ при параллельной схеме подключения

При $t_2 = 60, t_{x3} = 5^\circ\text{C}$:

Если $\tau_1 = 100^\circ\text{C}$,

то $\tau_{22} = 15,5^\circ\text{C}$;

Если $\tau_1 = 150^\circ\text{C}$,

то $\tau_{22} = 6^\circ\text{C}$

$\tau'_{12} = 70^\circ\text{C}$

$\tau'_{22} = 35 \div 40^\circ\text{C}$

$t_{\text{н.к.}}$

$t_{\text{н.и.}}$

$t_{\text{н.о.}}^p$

W'_{τ_2}

W_{τ_2}

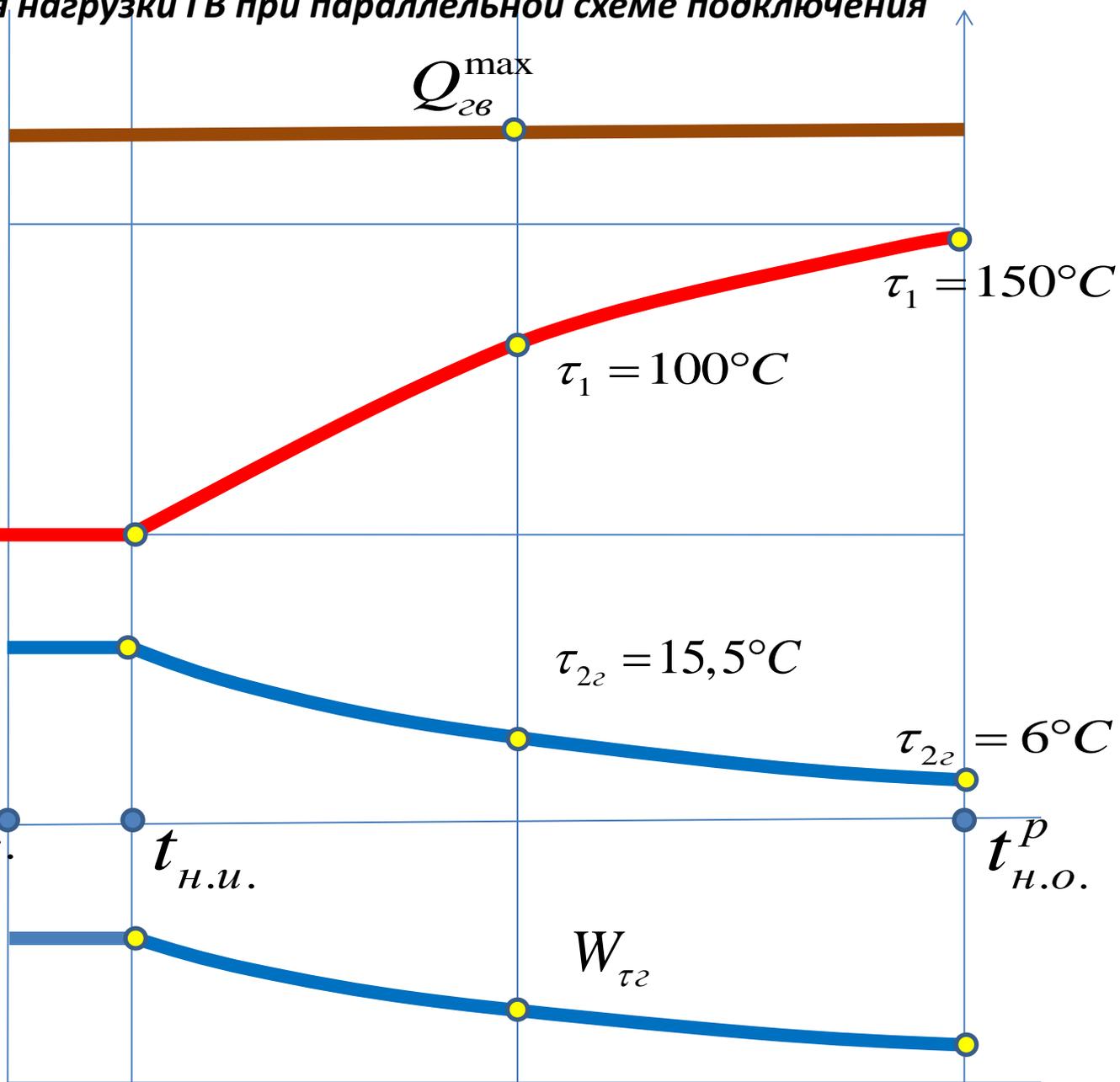
Q_{26}^{max}

$\tau_1 = 150^\circ\text{C}$

$\tau_1 = 100^\circ\text{C}$

$\tau_{22} = 15,5^\circ\text{C}$

$\tau_{22} = 6^\circ\text{C}$



ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Расчёты по уравнению 49 дают приблизительный результат. Погрешность возрастает по мере роста τ_1 и соответственно с уменьшением $W_{тг}$.
- ❑ Поэтому уравнение 49 следует использовать в диапазоне температур, когда расход греющего теплоносителя больше или равен расходу нагреваемого.
- ❑ В противном случае:
 - вычисляют Φ по формуле (48)
 - после чего определяют ε_T по формуле (46)
 - находят $\tau_{2г}$ по формуле:

$$\tau_{2г} = \tau_1 - \varepsilon_T (\tau_1 - t_{хз}) \quad (51)$$

- и, наконец, по формуле (50) вычисляют $W_{тг}$.

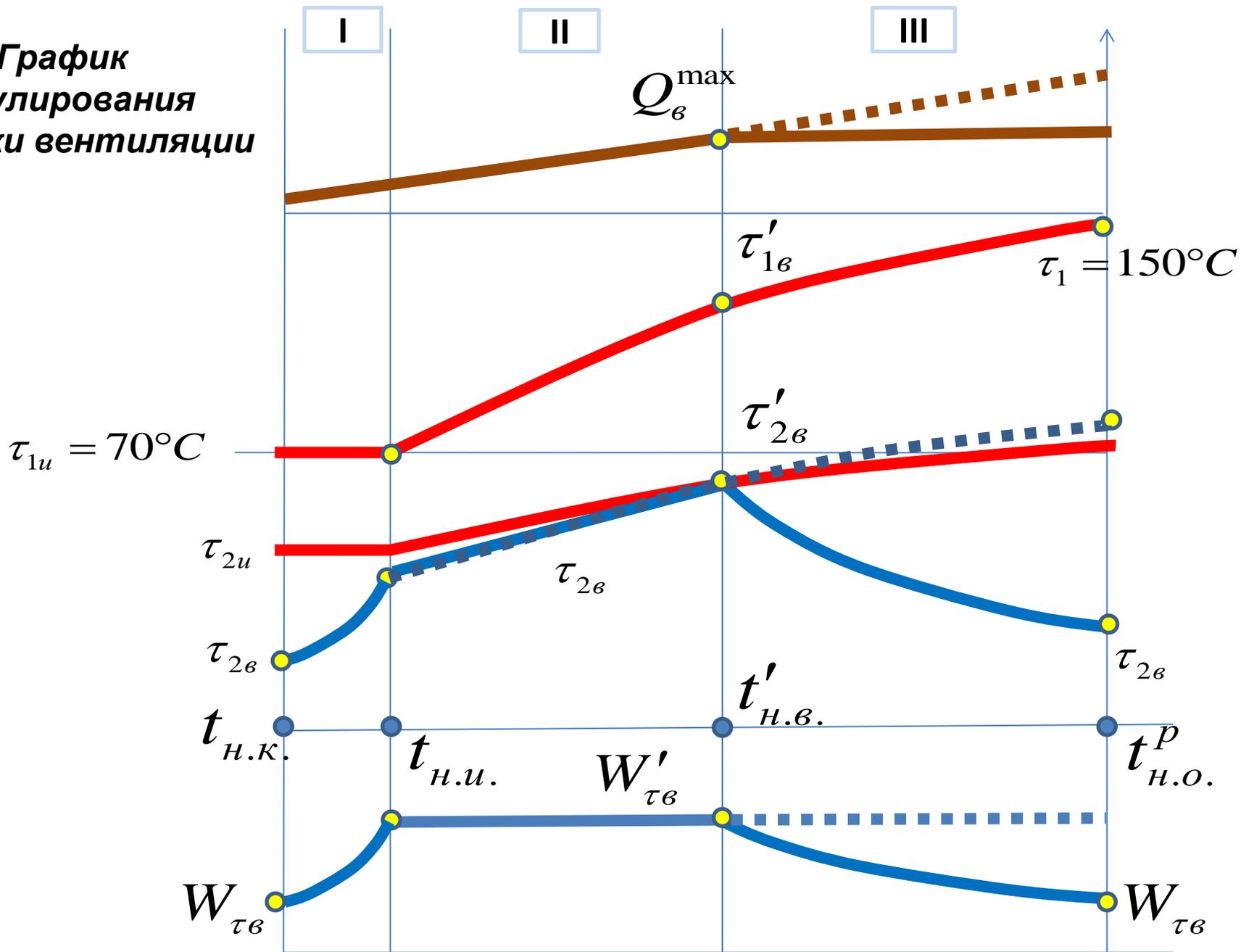
ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Расчёт регулирования нагрузки ГВ при ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СМЕШАННОЙ схеме осуществляется по методу характеристик (уравн. 45 – 51).
- ❑ В задачу расчёта входит вычисление расхода греющего теплоносителя через верхнюю, параллельную, ступень водонагревателя W_{τ_2} и его температуры на выходе их верхней ступени τ_{2_2} .
- ❑ Расчёты выполняются в диапазоне температур наружного воздуха от температуры излома температурного графика до температуры расчётной для отопления.
- ❑ Задача решается методом последовательных приближений: предварительно задаются тепловой нагрузкой верхней ступени, для этого значения вычисляют W_{τ_2} и τ_{2_2} , затем с использованием этих результатов определяют действительную нагрузку нижней ступени, после чего вычисляют нагрузку верхней ступени (от суммарной отнимают нагрузку нижней); если полученное значение нагрузки не совпадает с предварительно выбранным – вносят коррективы и повторяют расчёт до хорошей сходимости результата (в пределах 5 %).

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ **Рассмотрим регулирование тепловой нагрузки ВЕНТИЛЯЦИИ при НЕСВЯЗАННОМ принципе регулирования.**
- ❑ В задачу расчёта входит определение при различных значениях температур наружного воздуха (в диапазоне от начала/конца отопительного периода до расчётной для отопления):
 - *расходов греющего теплоносителя через воздухонагреватели;*
 - *температур этого теплоносителя на выходе из воздухонагревателя.*
- ❑ В основу расчёта положена методика, аналогичная рассмотренной выше (уравнения 44 – 50), но с учётом ряда особенностей:
 - *показатель степени в уравнениях для воды равен 0,12...0,20;*
 - *наличие нескольких диапазонов регулирования;*
 - *возможность применения первой рециркуляции воздуха при выборе процессов обработки воздуха при низких наружных температурах;*
 - *предполагается, что регулируется тепловая нагрузка воздухонагревателя первой ступени подогрева, как первого по ходу наружного воздуха.*

**График
регулирования
нагрузки вентиляции**



Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ По характеру изменения температуры наружного воздуха и расхода теплоты на вентиляцию **отопительный период делится на три диапазона.**
- ❑ **В диапазоне I** при переменной вентиляционной нагрузке температура теплоносителя в подающем трубопроводе постоянна. В этом диапазоне осуществляется местное количественное регулирование изменением расхода теплоносителя.
- ❑ **В диапазоне II** по мере увеличения вентиляционной нагрузки возрастает и температура теплоносителя. В этом диапазоне для систем вентиляции осуществляется центральное качественное регулирование.
- ❑ **В диапазоне III** возрастает температура теплоносителя и тепловая нагрузка для систем вентиляции **без рециркуляции** воздуха. Для этих систем в III диапазоне осуществляется центральное качественное регулирование.
- ❑ **В диапазоне III** для систем **с рециркуляцией** осуществляется местное количественное регулирование изменением расхода теплоносителя и соотношением количества наружного и рециркуляционного воздуха перед калориферами.

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Преобразуем уравнения 44 – 50 для расчета регулирования вентиляционной нагрузки

$$\bar{Q}_v = \frac{Q_v}{Q'_v} = \frac{W_{\tau v} (\tau_1 - \tau_{2v})}{W'_{\tau v} (\tau'_{1v} - \tau'_{2v})} = \frac{k \Delta t_{cp}}{k' \Delta t'_{cp}}; \quad kF = \Phi_k (W_m)^{0,15}$$

где $W_m = W_{\tau v}$, откуда:

$$\frac{W_{\tau v}}{W'_{\tau v}} = \bar{Q}_v \cdot \frac{\tau'_{1v} - \tau'_{2v}}{\tau_1 - \tau_{2v}}; \quad \bar{Q}_v = \left(\frac{W_{\tau v}}{W'_{\tau v}} \right)^{0,15} \cdot \frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t'_{cp}};$$

после замены в скобках имеем:

$$\bar{Q}_v = \left(\bar{Q}_v \cdot \frac{\tau'_{1v} - \tau'_{2v}}{\tau_1 - \tau_{2v}} \right)^{0,15} \cdot \frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t'_{cp}}; \quad \boxed{(\bar{Q}_v)^{0,85} = \left(\frac{\tau'_{1v} - \tau'_{2v}}{\tau_1 - \tau_{2v}} \right)^{0,15} \cdot \frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t'_{cp}}} \quad (52)$$

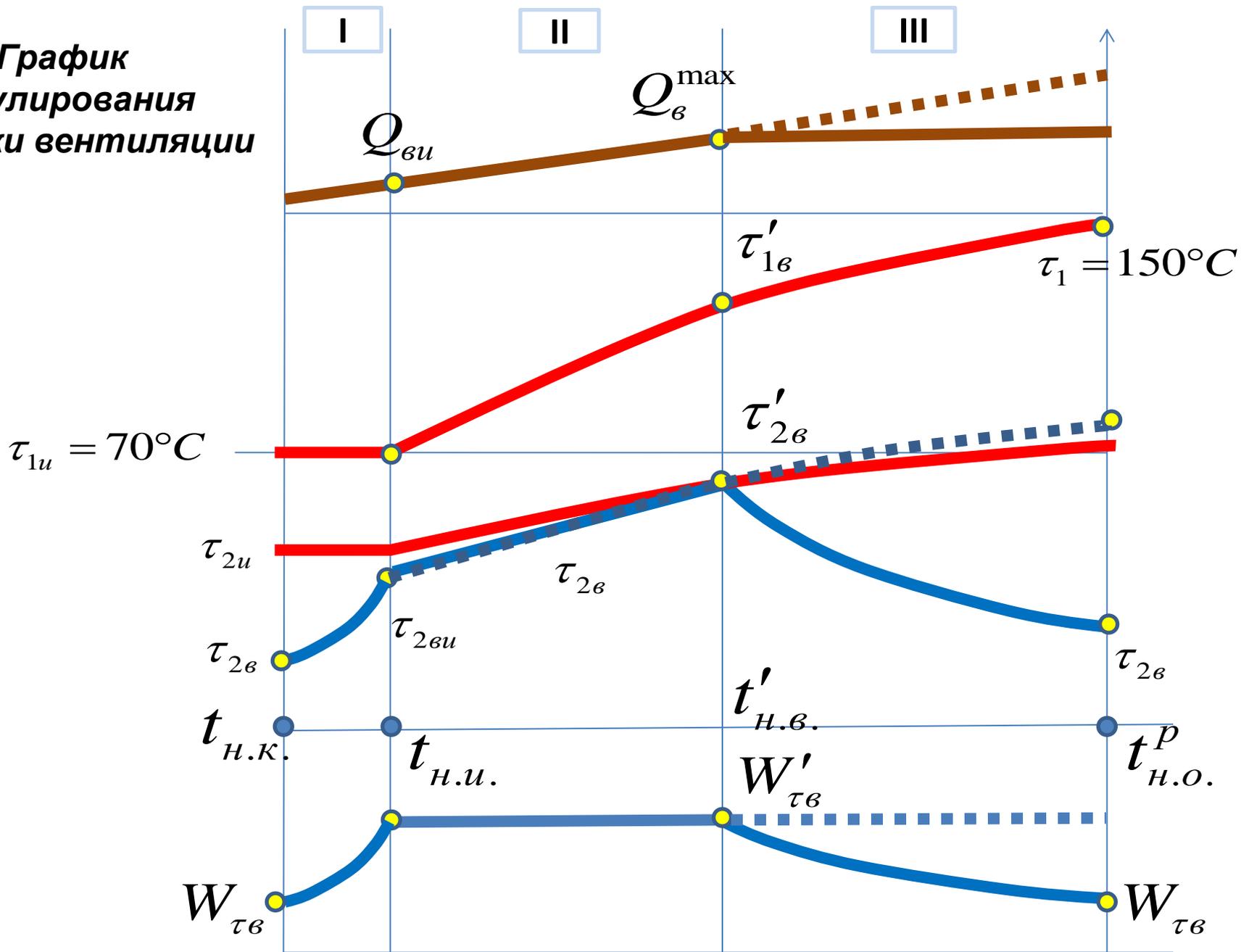
Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

$$\left(\bar{Q}_e\right)^{0,85} = \left(\frac{t_e - t_n}{t_e - t'_{н.в.}}\right)^{0,85} = \left(\frac{\tau'_{1e} - \tau'_{2e}}{\tau_1 - \tau_{2e}}\right)^{0,15} \cdot \frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t'_{cp}} \quad (52)$$

- ❑ В уравнении 52 температурный напор можно определять по любой формуле для вычисления температурного напора.
- ❑ Следует иметь в виду, что искомая величина τ_{2e} входит как в знаменатель выражения в скобках, так и в числитель правой дроби. Поэтому указанное уравнение решается методом последовательных приближений, путём подбора τ_{2e} .
- ❑ В каждом диапазоне (I или II или III) уравнение 52 приобретает свой особый вид, в зависимости от способа регулирования.

**График
регулирования
нагрузки вентиляции**



Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

$$\left(\bar{Q}_e\right)^{0,85} = \left(\frac{t_e - t_H}{t_e - t'_{H.B.}}\right)^{0,85} = \left(\frac{\tau'_{1e} - \tau'_{2e}}{\tau_1 - \tau_{2e}}\right)^{0,15} \cdot \frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t'_{cp}} \quad (52)$$

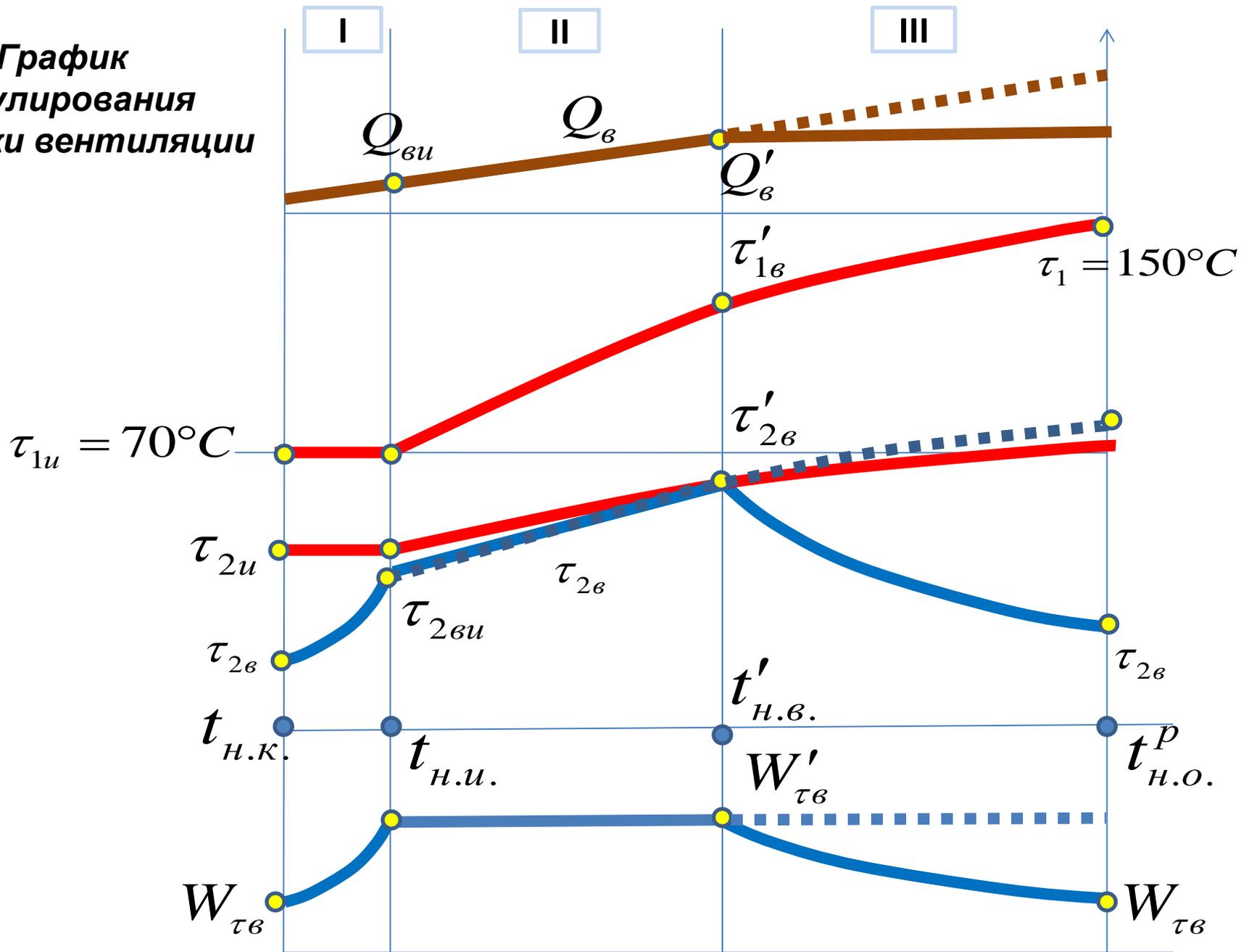
- В диапазоне II регулирование качественное, коэффициент теплопередачи неизменен, и уравнение (52) может быть приведено к виду:

$$\tau_{2e} = \tau_1 - (\tau'_{1e} - \tau'_{2e})\bar{Q}_e \quad (53)$$

- В диапазоне III при отсутствии первой рециркуляции регулирование также рассчитывается по уравнение (53).
- В диапазоне III при наличии первой рециркуляции нагрузка вентиляции постоянна, и уравнение (52) приобретает вид:

$$\left(\frac{\tau'_{1e} - \tau'_{2e}}{\tau_1 - \tau_{2e}}\right)^{0,15} \cdot \frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t'_{cp}} = 1 \quad (54)$$

**График
регулирования
нагрузки вентиляции**



Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

$$\left(\bar{Q}_\varepsilon\right)^{0,85} = \left(\frac{t_\varepsilon - t_H}{t_\varepsilon - t'_{H.\varepsilon.}}\right)^{0,85} = \left(\frac{\tau'_{1\varepsilon} - \tau'_{2\varepsilon}}{\tau_1 - \tau_{2\varepsilon}}\right)^{0,15} \cdot \frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t'_{cp}} \quad (52)$$

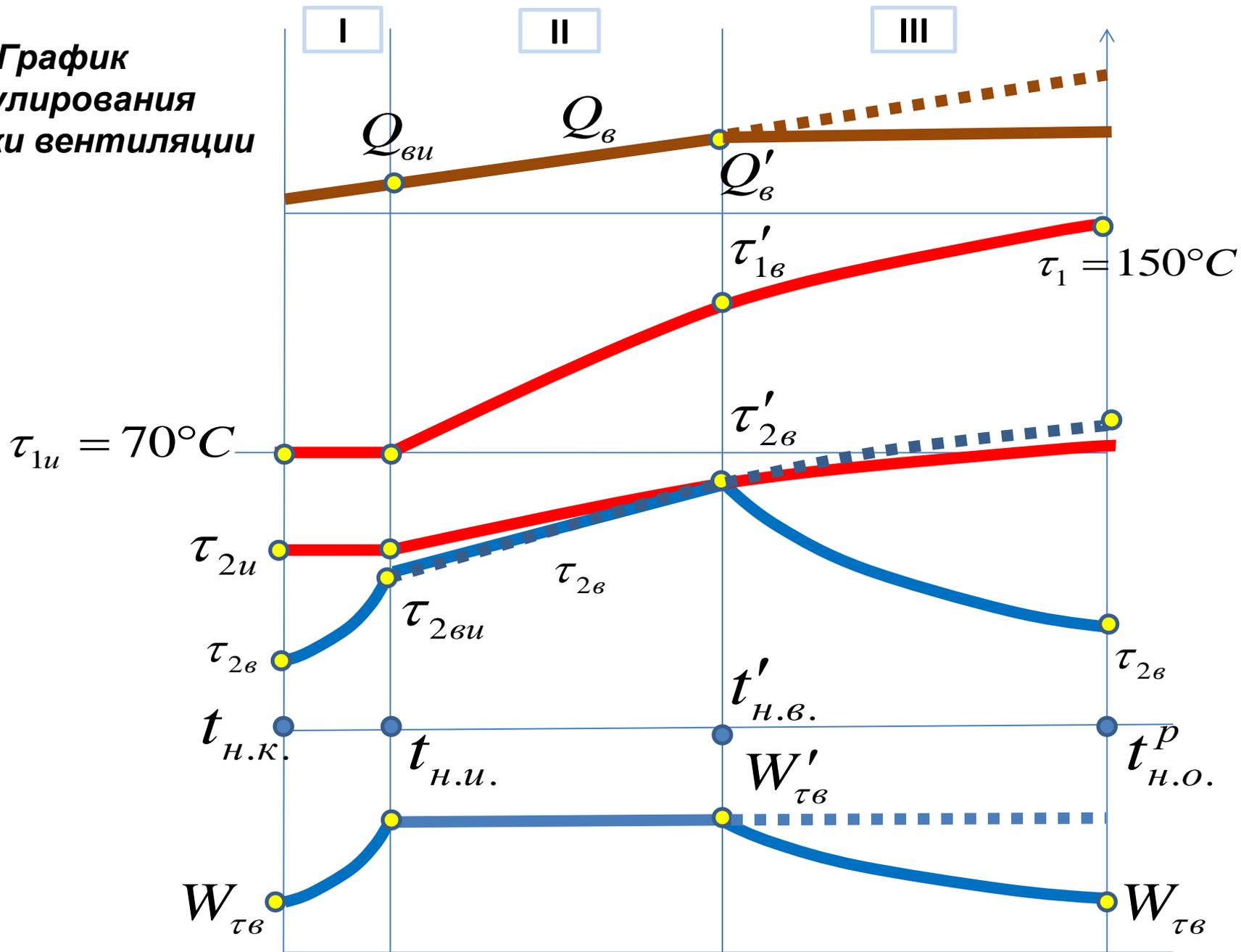
- В диапазоне I уравнение (52) должно в точке излома температурного графика дать такой же результат для $\tau_{2\varepsilon}$, как и уравнение (53). А для этого в качестве расчётных величин в уравнение (52) надо подставить температуры для точки излома температурного графика:

$$\left(\bar{Q}_{\varepsilon u}\right)^{0,85} = \left(\frac{t_\varepsilon - t_H}{t_\varepsilon - t_{H.u.}}\right)^{0,85} = \left(\frac{\tau_{1u} - \tau_{2\varepsilon u}}{\tau_{1u} - \tau_{2\varepsilon}}\right)^{0,15} \cdot \frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t_{cp.u}} \quad (55)$$

- Во всех диапазонах расход теплоносителя определяется по формуле:

$$W_{\tau\varepsilon} = \bar{Q}_\varepsilon \cdot Q'_\varepsilon / (\tau_1 - \tau_{2\varepsilon}) \quad (56)$$

**График
регулирования
нагрузки вентиляции**



Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

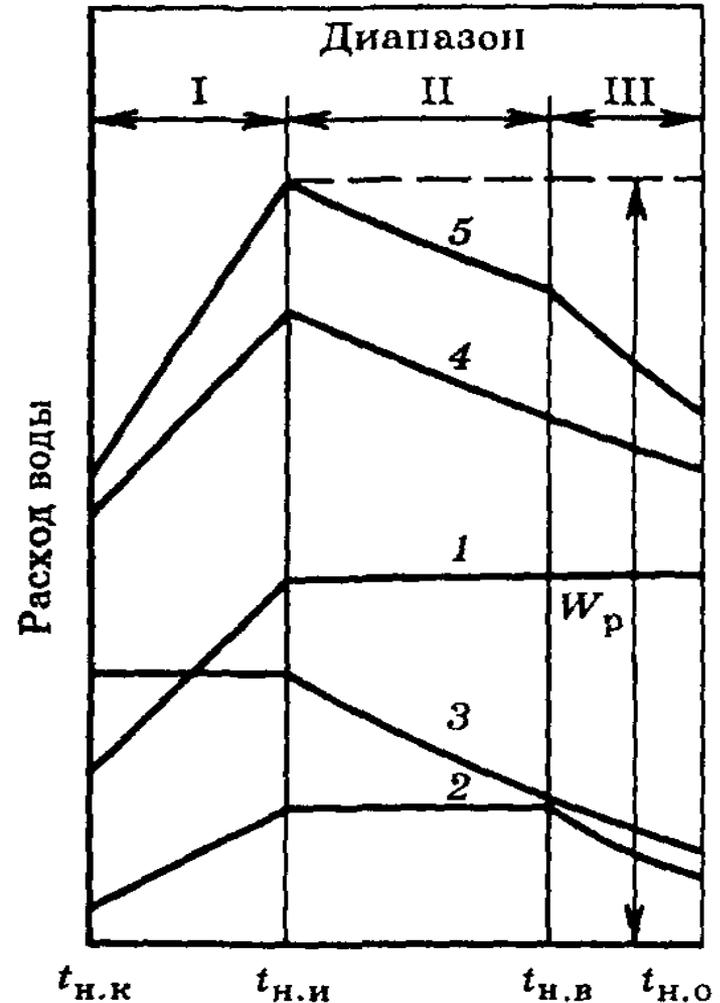
- По результатам расчёта регулирования строятся графики расходов теплоты, теплоносителя и температур в тепловой сети в зависимости от температуры наружного воздуха.

График суммарного расхода теплоносителя в закрытой системе теплоснабжения при несвязанном принципе регулирования однородных тепловых нагрузок

1 — отопление, 2 — вентиляция, 3 — горячее водоснабжение, 4 — расход на отопление и горячее водоснабжение, 5 — суммарный расход на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение

При несвязанном регулировании суммарный расход теплоносителя очень велик и является суммой расходов по отдельным видам нагрузок.

Уменьшить суммарный расход можно при реализации связанного принципа регулирования



Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

4.6. Регулирование совмещённой нагрузки отопления и горячего водоснабжения в закрытых системах теплоснабжения.

- При связанном регулировании разные виды тепловых нагрузок регулируются совместно путем изменения одних и тех же параметров теплоносителя в тепловой сети.
- При связанном регулировании на абонентские вводы потребителей подаётся расход теплоносителя, соответствующий наиболее значительному виду теплового потребления.
- Обычно, таким является расход теплоносителя для нужд отопления.
- В этом случае нагрузка горячего водоснабжения обеспечивается за счет дополнительного нагрева и остывания этого теплоносителя сверх необходимого для нужд отопления.
- Нагрузка вентиляции, как правило, в формировании связанного регулирования не участвует и обеспечивается дополнительным расходом теплоносителя.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Рассмотрим центральное качественное регулирование **ПО СОВМЕЩЁННОЙ НАГРУЗКЕ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ** в **ЗАКРЫТОЙ** системе теплоснабжения.
- ❑ *При этом методе регулирования в системе поддерживается постоянный расход, сетевой воды, равный расчетному расходу на отопление $G'_{то}$.*
- ❑ Для удовлетворения нагрузки горячего водоснабжения температура воды в подающем трубопроводе должна быть выше, а в обратном – ниже, чем требуется по отопительному графику.
- ❑ Метод реализуем при следующих условиях:
 - *суммарный среднечасовой расходе теплоты на горячее водоснабжение составляет более 15 % от суммарного максимального часового расхода на отопление, $Q_{hm}/Q_{o'} > 0,15$.*
 - *Присоединение подогревателей горячего водоснабжения не менее чем у 75 % абонентов выполнено по двухступенчатой последовательной схеме*

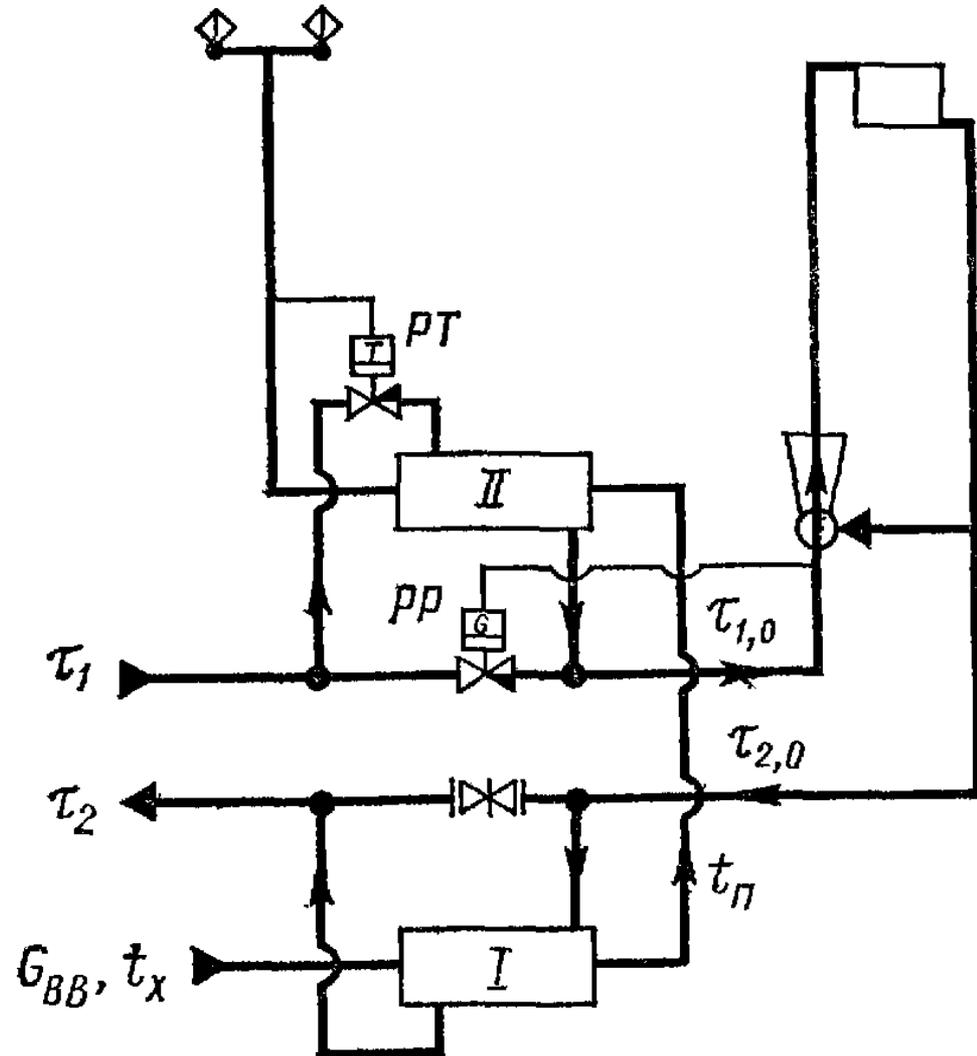
Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Двухступенчатая последовательная схема подключения подогревателей ГВ

- I – подогреватель нижней ступени
- II – подогреватель верхней ступени
- PP – регулятор расхода на отопление
- PT – регулятор температуры воды в системе ГВ

- Сетевая вода перед поступлением в систему отопления проходит через подогреватель верхней ступени, где температура ее снижается от τ_1 до $\tau_{1,0}$.
- Расход воды на ГВ изменяется регулятором температуры PT.
- Обратная вода после системы отопления поступает в подогреватель нижней ступени, где остывает от $\tau_{2,0}$ до τ_2 .
- Постоянный расход сетевой воды на вводе поддерживается регулятором PP.



Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Последовательное включение подогревателя верхней ступени дает возможность использовать в качестве теплового аккумулятора строительные конструкции здания.
- ❑ В часы максимального водопотребления снижается температура воды, поступающей в систему отопления, что приводит к уменьшению отдачи теплоты в помещения. Этот небаланс компенсируется в часы минимального водопотребления, когда в систему отопления поступает вода с температурой более высокой, чем требуется по отопительному графику.
- ❑ *Суточный баланс теплоты на отопление обеспечивается при использовании в расчётах «балансовой» нагрузки горячего водоснабжения, несколько превышающей среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение:*

$$Q_2^{\delta} = \chi^{\delta} \cdot Q_{hm}$$

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

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

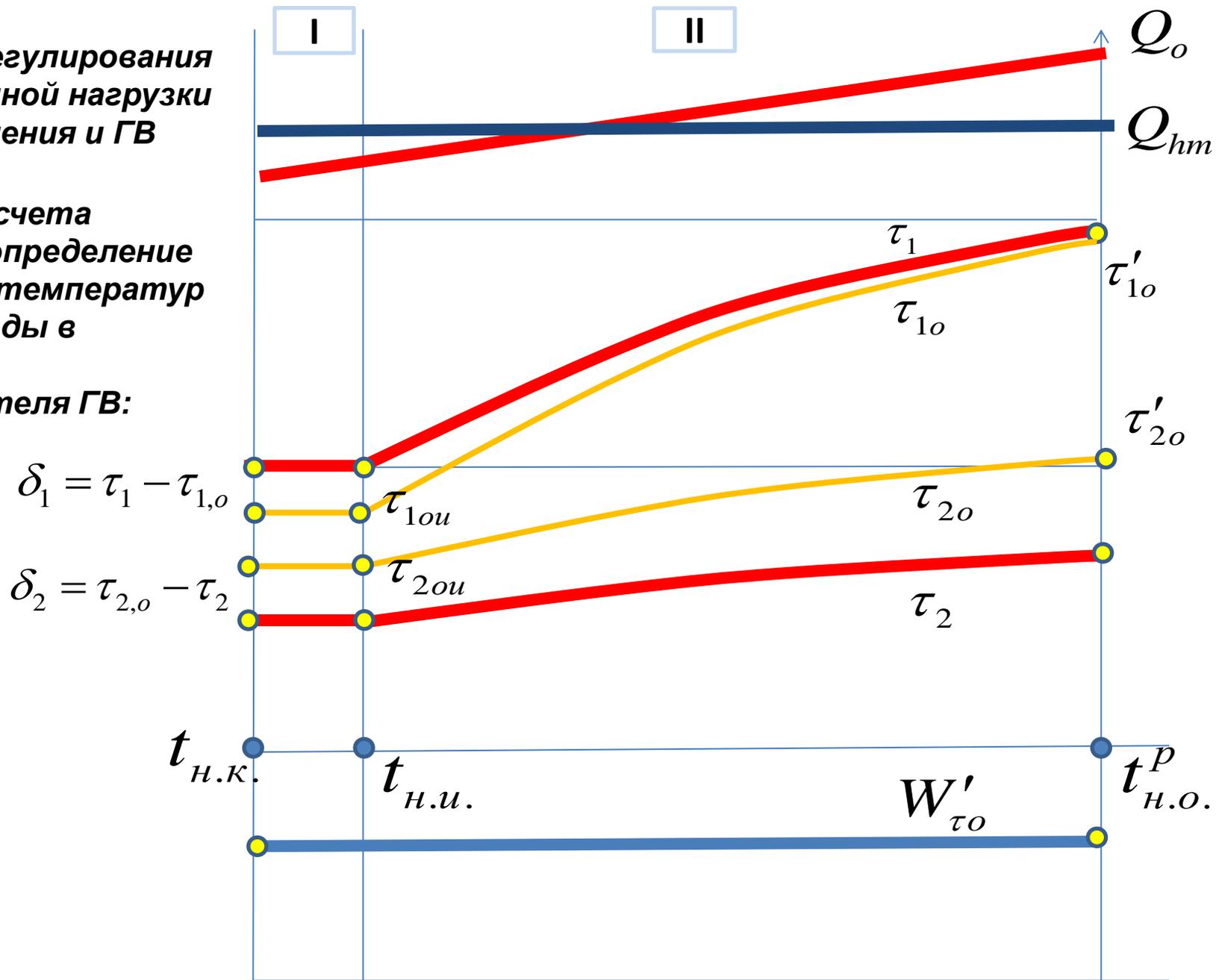
- При постоянном расходе сетевой воды и при «балансовой» нагрузке ГВ суммарный перепад температур сетевой воды в подогревателях верхней и нижней ступени величина постоянная при любой температуре наружного воздуха:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{Q_2^{\text{б}}}{cG'_o} = \frac{Q_2^{\text{б}}}{Q'_o} (\tau'_{1o} - \tau'_{2o}) = \text{const} \quad (57)$$

- Расчёт производится для двух диапазонов температур наружного воздуха:
 - *I – от температуры излома до температуры начала/конца отопительного периода*
 - *II – от температуры начала/конца отопительного периода до температуры расчётной для отопления*
- В диапазоне I перепады δ_1 и δ_2 постоянны, вычисляются по данным расчётного режима теплообменника.
- В диапазоне II перепады δ_1 и δ_2 изменяются: δ_1 уменьшается до нуля по мере понижения температуры, а δ_2 соответственно увеличивается до максимума, но при этом их сумма остается постоянной и равной расчётному значению.

**График регулирования
совмещенной нагрузки
отопления и ГВ**

**Задачей расчета
является определение
перепадов температур
сетевой воды в
ступенях
подогревателя ГВ:**



Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ Перепады температур сетевой воды в подогревателях верхней и нижней ступени определяют для каждого диапазона отдельно.
- ❑ **Диапазон I.** Предварительно определяют температуру водопроводной воды t_n на выходе из подогревателя нижней ступени (I) при текущей температуре наружного воздуха $t_{ни}$, задавшись величиной «недогрева» водопроводной воды $\Delta t = 5 \dots 10^\circ\text{C}$ (предполагается, что нагреваемая вода после водонагревателя нижней ступени получается на $5 \dots 10$ градусов холоднее греющей воды на входе в эту ступень):

$$t_n = t_{2ou} - \Delta t$$

- ❑ Тогда в диапазоне I тепловые нагрузки ступеней разделяться следующим образом:

$$Q_I^{\delta} = Q_2^{\delta} \frac{t_n - t_x}{t_2 - t_x}; \quad Q_{II}^{\delta} = Q_2^{\delta} \frac{t_2 - t_n}{t_2 - t_x} \quad (58)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Следовательно, в диапазоне I перепад температуры сетевой воды на нижней ступени подогревателя будет равен:

$$\delta'_2 = \frac{Q_2^{\delta}}{W'_{\tau_0}} \frac{t_n - t_x}{t_2 - t_x} = \frac{Q_2^{\delta}}{Q'_0} \frac{t_n - t_x}{t_2 - t_x} (\tau'_{1o} - \tau'_{2o}) \quad (59)$$

- С учётом уравнения 57 перепад температуры сетевой воды в диапазоне I на верхней ступени составит:

$$\delta'_1 = \delta - \delta'_2 \quad (60)$$

- **Диапазон II.** В диапазоне II температура воды на входе в систему отопления τ_{2o} повышаются по мере снижения температуры наружного воздуха. Следовательно, растёт t_n и увеличивается нагрузка нижней ступени. Значит, δ_2 возрастает, а δ_1 соответственно уменьшается. Но их сумма остаётся неизменной. При $t_n = t'_{n.o}$ $\delta_1 = 0$, а $\delta_2 = \delta$ (см. уравнение 57)

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Зависимость δ_2 от τ_{2o} может быть выражена следующей линейной функцией:

$$\delta_2 = \delta'_2 \frac{\tau_{2o} - t_x}{\tau_{2oi} - t_x} \quad (61)$$

- Перепад на верхней ступени будет равен:

$$\delta_1 = \delta - \delta_2 \quad (62)$$

- По найденным значениям δ_1 и δ_2 и известным температурам воды отопительно-бытового графика (τ_{1o} , τ_{2o}) находят температуры в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети при регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения:

$$\tau_1 = \tau_{1,o} + \delta_1; \quad \tau_2 = \tau_{2,o} - \delta_2 \quad (63)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

4.7. Регулирование тепловых нагрузок в открытых системах теплоснабжения.

- В открытых системах теплоснабжения разбор воды на горячее водоснабжение осуществляется непосредственно из подающей и обратной магистрали тепловой сети.
- При температуре воды в подающем трубопроводе, равной 60°C , водоразбор ведется только из подающей магистрали.
- С повышением температуры сетевой воды ($t_{10} > 60^{\circ}\text{C}$) водоразбор осуществляется одновременно из подающего и обратного трубопроводов в таком соотношении, чтобы температура воды, поступающей на ГВ, была равна 60°C .
- Если температура в обратной магистрали равна или выше 60°C – разбор воды на нужды ГВ происходит только из обратной магистрали.

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Общий из обеих магистралей (расчетный) расход воды на горячее водоснабжение определяется по формуле:

$$G'_2 = \frac{Q'_2}{c(t_2 - t_x)}$$

- Величины водоразборов:

из подающей магистрали: $G_2^{nod} = \beta G_2$ (64)

из обратной магистрали: $G_2^{обр} = (1 - \beta)G_2$ (65)

где β – доля водоразбора из подающего трубопровода

- Для узла смешения воды справедливо уравнение баланса:

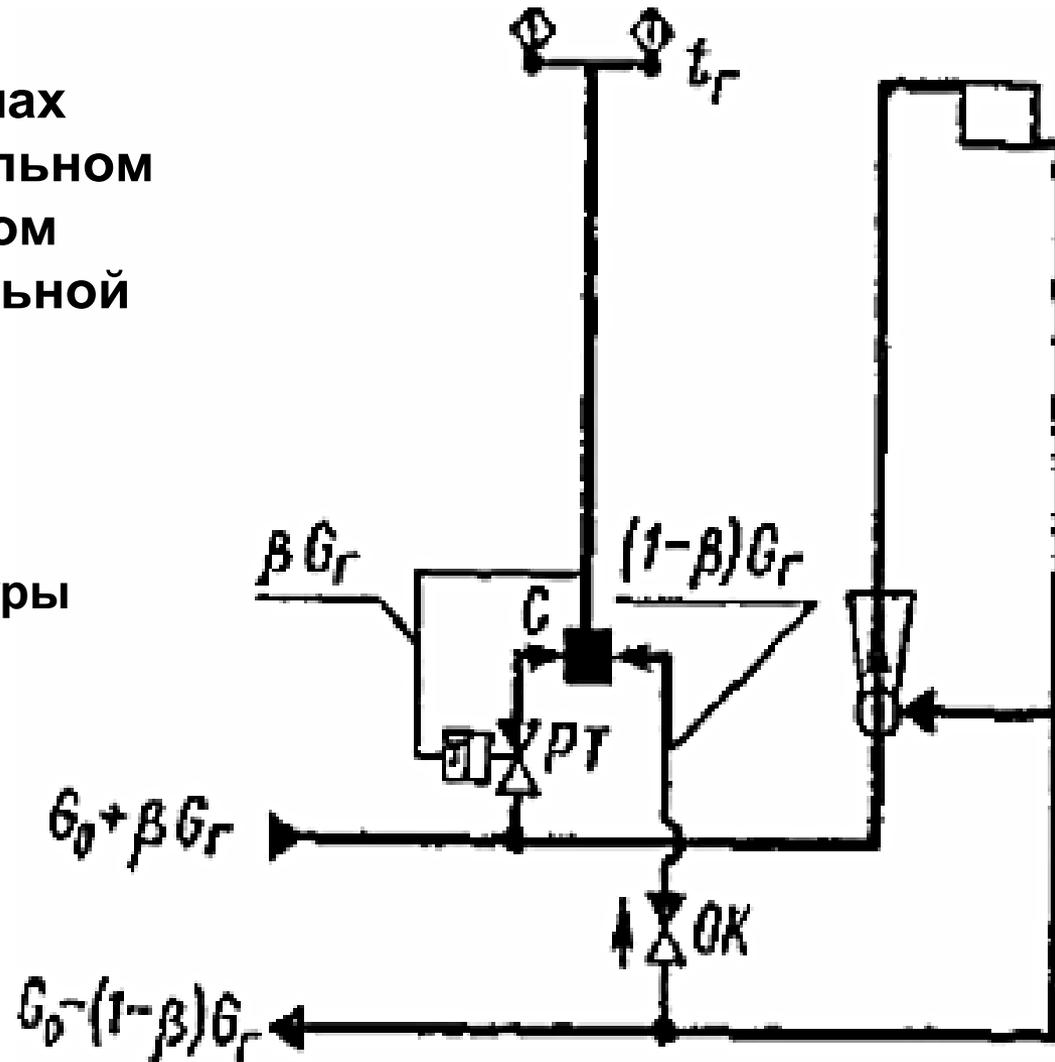
$$G_2 t_2 = G_2^{nod} \tau_{1,0} + G_2^{обр} \tau_{2,0} \quad (66)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

Схема абонентского ввода в открытых системах теплоснабжения при центральном качественном несвязанном регулировании по отопительной нагрузке:

С – смеситель,
ОК – обратный клапан
РТ – регулятор температуры



ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

□ В результате совместного решения уравнений 64, 65 и 66 получим:

$$\beta = \frac{t_2 - \tau_{2,0}}{\tau_1 - \tau_{2,0}} \quad (67)$$

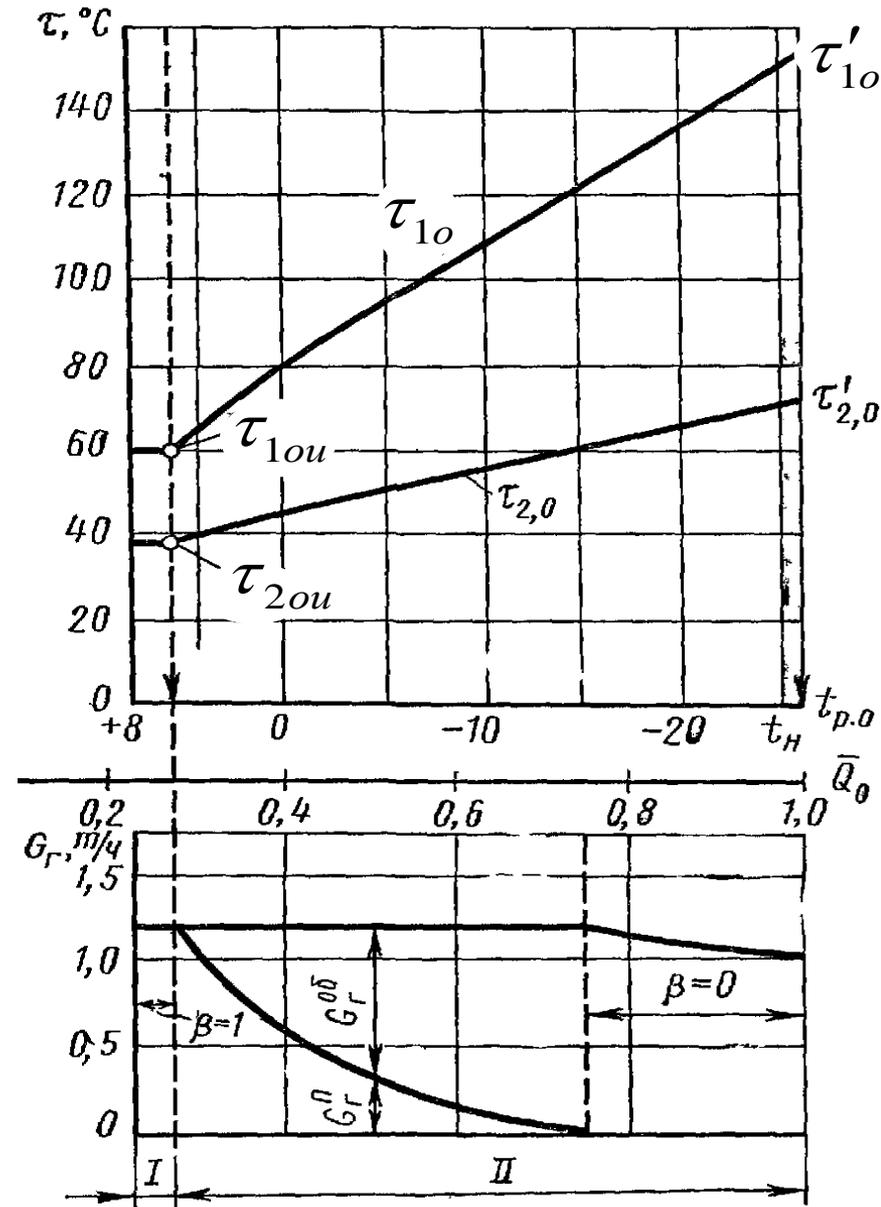
- **$\beta=1$** в диапазоне температур наружного воздуха от температуры конца отопительного периода до температуры точки излома температурного графика;
- **$\beta=0$** при температуре воды в обратной магистрали равной или выше 60°C , что, как правило, наблюдается при температурах наружного воздуха ниже температуры, соответствующей параметрам А для холодного периода года.
- В течение отопительного сезона доля водоразбора из подающей магистрали **β изменяется в пределах от 1 до 0** по мере снижения температуры наружного воздуха.
- при температуре обратной воды $>60^\circ\text{C}$ расход воды на горячее водоснабжение снижается пропорционально отношению :

$$(t_2 - t_x) / (\tau_{2,0} - t_x)$$

Теплоснабжение

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

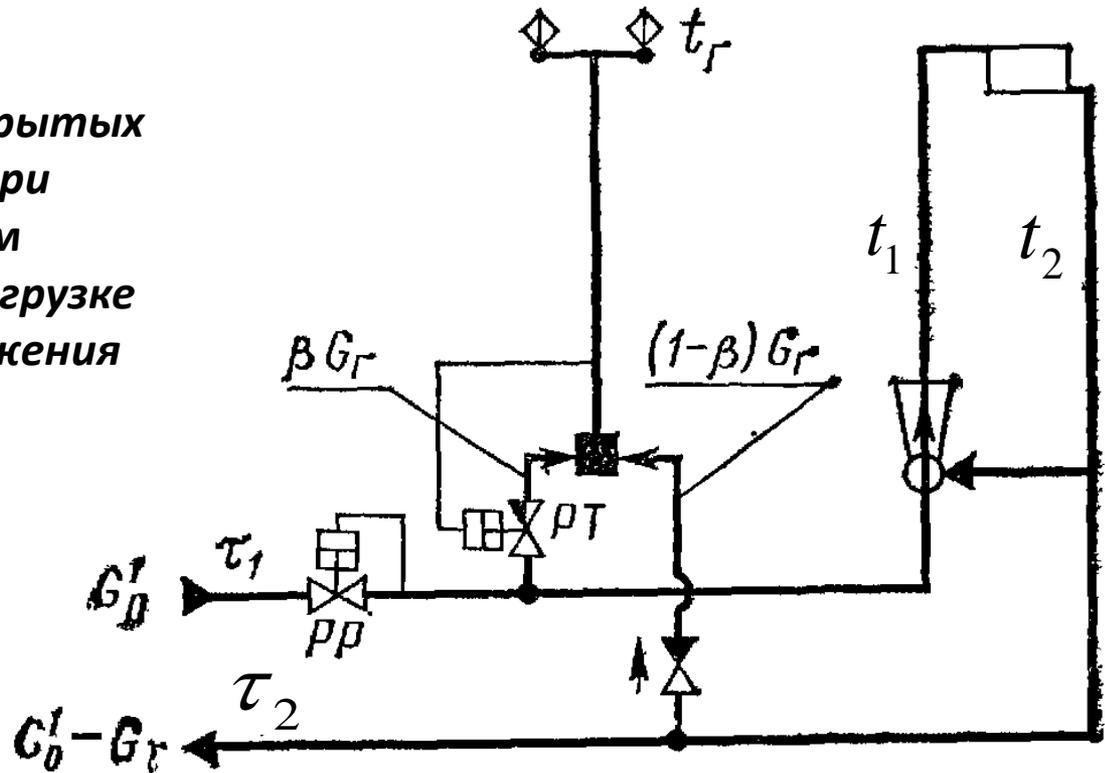
График температур и расходов теплоносителя при центральном качественном несвязанном регулировании открытых систем теплоснабжения по нагрузке отопления



ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- Рассмотрим случай **ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЧЕСТВЕННОГО** регулирования **СОВМЕЩЁННОЙ** нагрузки отопления и горячего водоснабжения при **СВЯЗАННОМ** принципе регулирования в **ОТКРЫТЫХ** системах теплоснабжения.

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



PP – регулятор расхода на абонентском вводе – обеспечивает связанное регулирование (ограничивает расход)

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

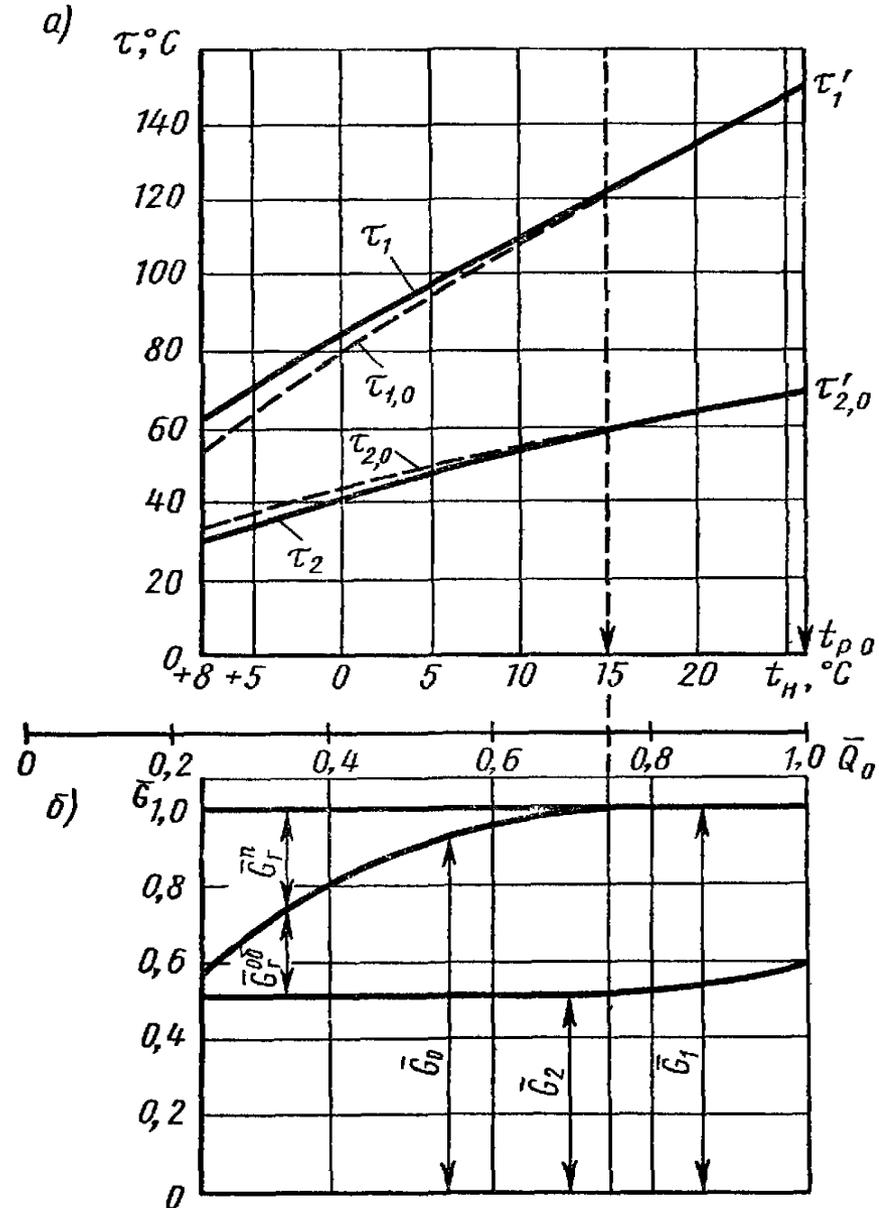
- Центральное качественное регулирование по совместной нагрузке в открытых системах применяют при соотношении тепловых нагрузок у большинства потребителей в пределах $0,15 \leq Q_{hm}/Q'_0 \leq 0,3$
- *Регуляторы расхода в абонентских узлах ввода устанавливают перед ответвлением на горячее водоснабжение и поддерживают постоянный расход воды, равный расчетному на отопление.*
 - *Водоразбор из подающей линии ведёт к уменьшению поступление сетевой воды в систему отопления.*
 - *Небаланс теплоты на отопление компенсируется некоторым повышением температуры в подающем трубопроводе по сравнению с отопительным графиком.*
 - *При этом методе регулирования строительные конструкции здания используются в качестве аккумулятора теплоты, выравнивающего неравномерности суточного графика теплопотребления.*
 - *Для сохранения суточного баланса теплоты на отопление основной расчёт проводится по балансовой нагрузке горячего водоснабжения, которая на 10...20% превышает расчётное значение.*

$$Q_2^{\circ} = \chi^{\circ} Q_{hm}, \quad \text{где} \quad \chi^{\circ} = 1,1 \div 1,2$$

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

График центрального качественного регулирования открытых систем теплоснабжения по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (скорректированный график)

- *В диапазоне наружных температур, когда осуществляется водоразбор из подающей магистрали, система отопления недополучает теплоту.*
- *Дефицит теплоты компенсируется перегревом воды в подающей магистрали и ее переохлаждением в обратной магистрали сверх обычного отопительного графика.*
- *Система отопления при этом работает с переменными расходом и температурой греющей воды.*



ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

- ❑ **Задачей расчёта регулирования в этом случае будет определение температур воды в подающей и обратной магистрали**
- ❑ В моменты водоразбора из подающей магистрали расход воды через систему отопления снижается по сравнению с расчётным.
- ❑ При любой температуре наружного воздуха и балансовой нагрузке горячего водоснабжения расход воды через систему отопления в этом случае определяют из уравнения теплового баланса системы отопления с учетом водоразбора на горячее водоснабжение:

$$Q_o = (G'_o - \beta G_z) c (\tau_1 - \tau_{2,o}) \quad (68)$$

- ❑ Подставив выражение для β из уравнения 67 в уравнение 68, получим:

$$\bar{G}_o = 1 - \frac{t_z - \tau_{2,o}}{\tau_1 - \tau_{2,o}} \cdot \frac{G_z}{G'_o} \quad (69)$$

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

□ Уравнение 69 можно привести к виду:

$$\bar{G}_o = \frac{1 - 0,5 \frac{Q_2^{\bar{o}}}{Q_o'} \cdot \frac{t_1' - t_2'}{t_2 - t_x}}{1 + \frac{t_2 - t_6^p}{t_2 - t_x} \cdot \frac{(Q_2^{\bar{o}} / Q_o')}{\bar{Q}_o} - \frac{\Delta t_o'}{t_2 - t_x} \cdot \frac{(Q_2^{\bar{o}} / Q_o')}{\bar{Q}_o^{0,2}}} \quad (70)$$

□ Скорректированные температуры вычисляются по формулам:

$$\tau_1 = t_6^p + \frac{\bar{Q}_o}{\bar{G}_o} \left(\tau_{1o}' - \tau_{2o}' + \Delta t_{cp}' \frac{\bar{G}_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} - 0,5(t_1' - t_2') \right) \quad (71)$$

$$\tau_{2,o} = t_6^p + \frac{\bar{Q}_o}{\bar{G}_o} \left(\Delta t_{cp}' \frac{\bar{G}_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} - 0,5(t_1' - t_2') \right) \quad (72)$$

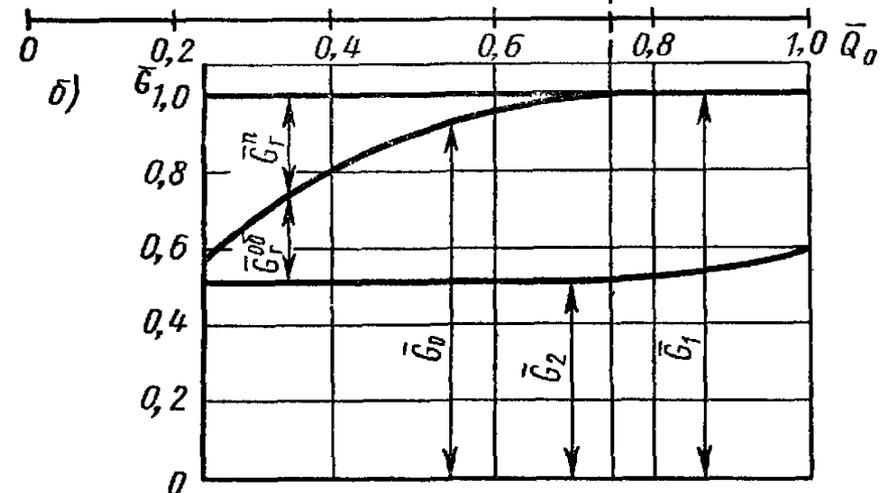
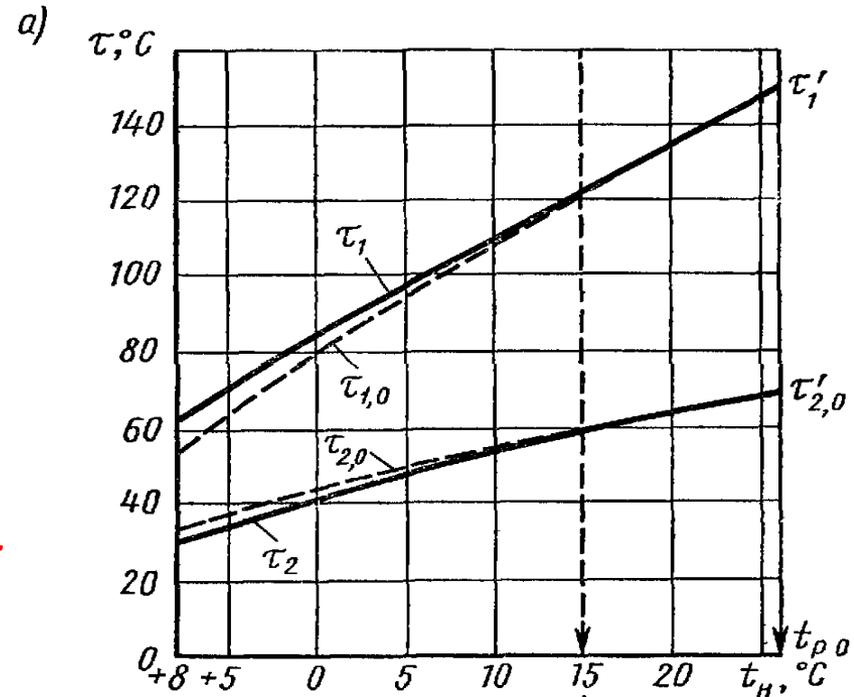
где:

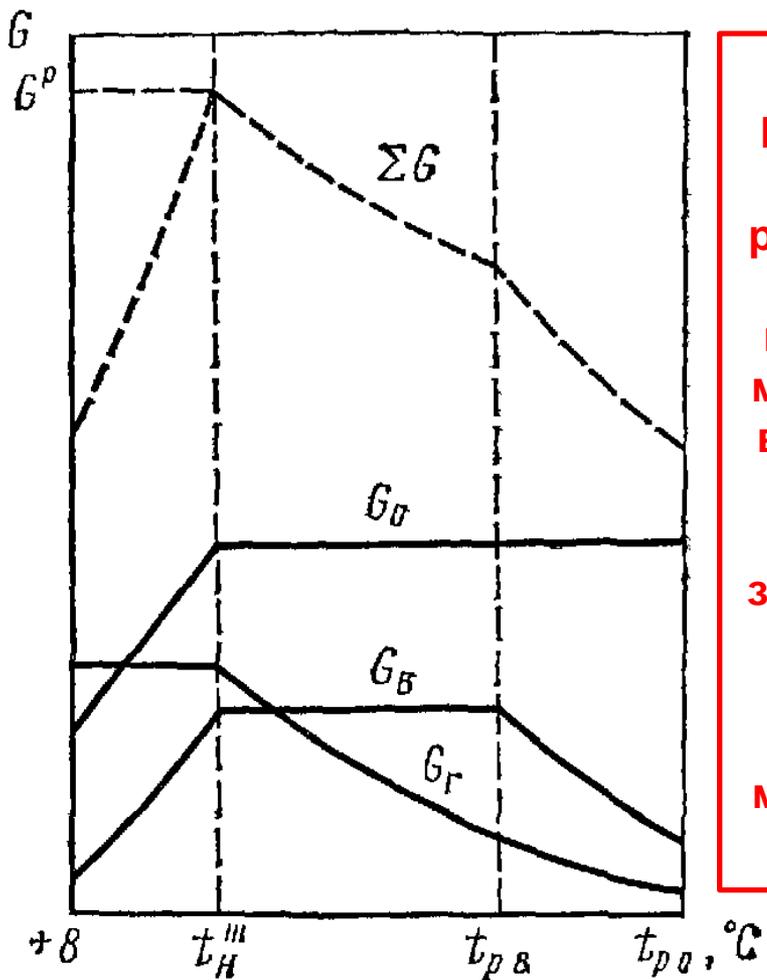
$$\Delta t_{cp}' = 0,5(t_1' + t_2') - t_6^p; \quad (24)$$

ТЕМА 4. Регулирование тепловых нагрузок

График центрального качественного регулирования открытых систем теплоснабжения по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (скорректированный график)

□ В открытых системах также могут использоваться методы качественно-количественного регулирования





В открытых системах расход воды в обратной магистрали меньше, чем в закрытых, что позволяет закладывать в проекты меньшие диаметры магистралей

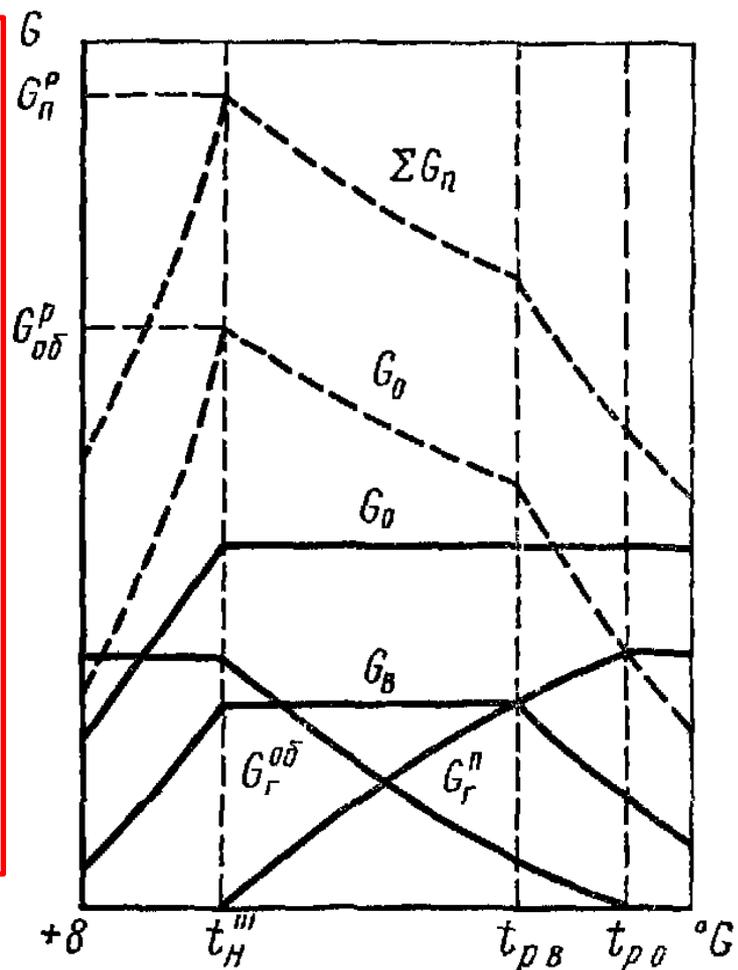


График суммарного расхода сетевой воды в закрытых водяных системах

График суммарного расхода сетевой воды в открытых водяных системах