



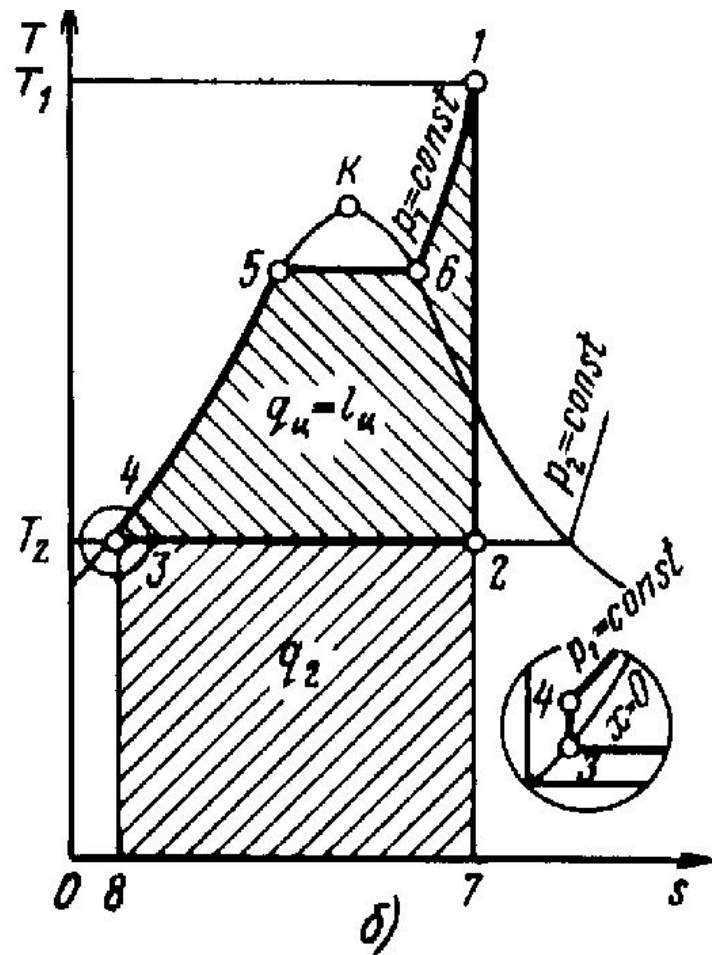
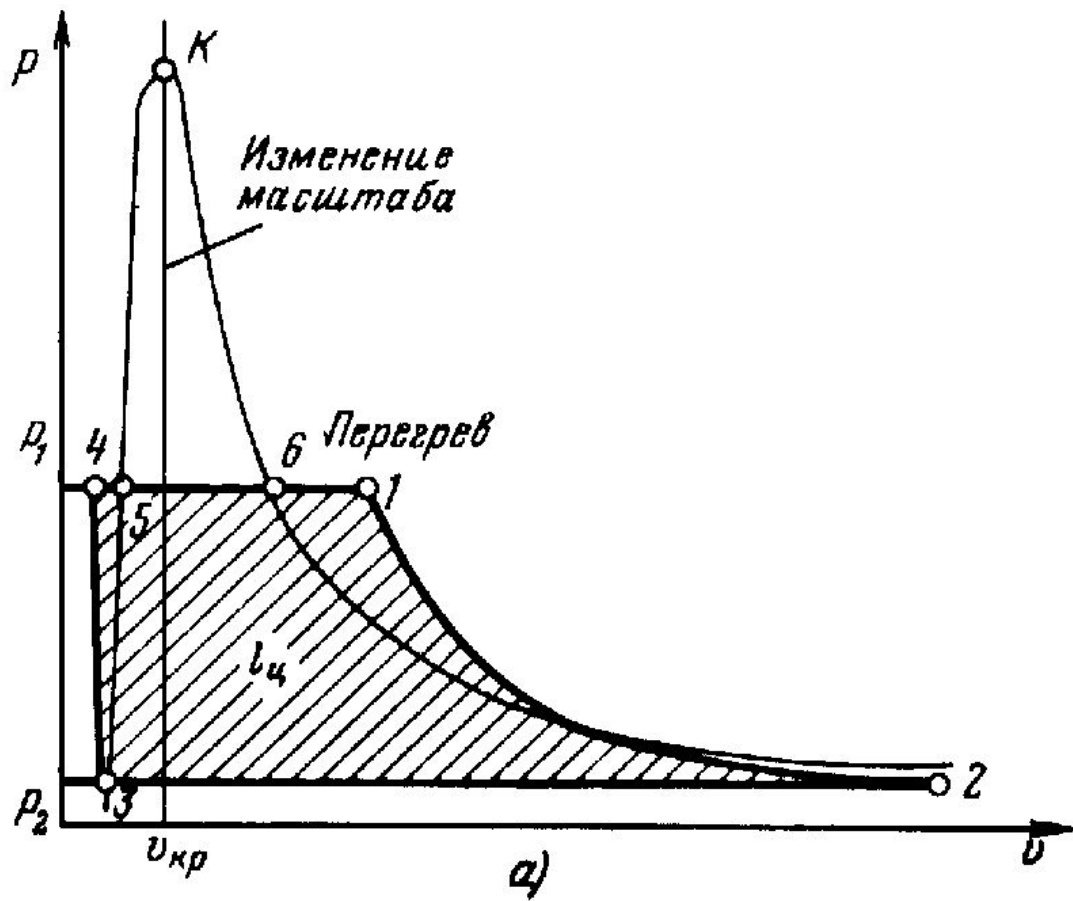
# Теплофикация и когенерация

- **Теплофикация** – это централизованное теплоснабжение на базе комбинированного производства (на ТЭЦ, ГРЭС, АЭС) и отпуска потребителям тепловой и электрической энергии
- **Когенерация** – комбинированная выработка и отпуск тепловой и электрической энергии при использовании преимущественно децентрализованных систем теплоснабжения

К теплофикационным ПТ относятся ПТ с противодавлением, с регулируемым отбором пара, а также с отбором и противодавлением.

У ПТ с противодавлением весь отработавший пар используется для технологических целей (сушка, отопление и др.). Электрическая мощность, развиваемая турбоагрегатом с такой ПТ, зависит от потребности производства или отопительной системы в греющем паре и меняется вместе с ней. Поэтому турбоагрегат с противодавлением обычно работает параллельно с конденсационной ПТ или электросетью, которые покрывают возникающий дефицит в электроэнергии. В ПТ с регулируемым отбором часть пара отводится из 1 или 2 промежуточных ступеней, а остальной пар идёт в конденсатор. Давление отбираемого пара поддерживается в заданных пределах системой регулирования. Место отбора (ступень ПТ) выбирают в зависимости от нужных параметров пара. У ПТ с отбором и противодавлением часть пара отводится из 1 или 2 промежуточных ступеней, а весь отработавший пар направляется из выпускного патрубка в отопительную систему. Давление пара ПТ для отопительных целей обычно составляет  $0,12 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,12 \text{ МПа}$ ), а для технологических нужд (сахарные, деревообрабатывающие, пищевые предприятия)  $0,5-1,5 \text{ Мн/м}^2$ .

Цикл Ренкина на перегретом паре:  
 а – в  $P, v$  - диаграмме; б – в  $T, s$  - диаграмме



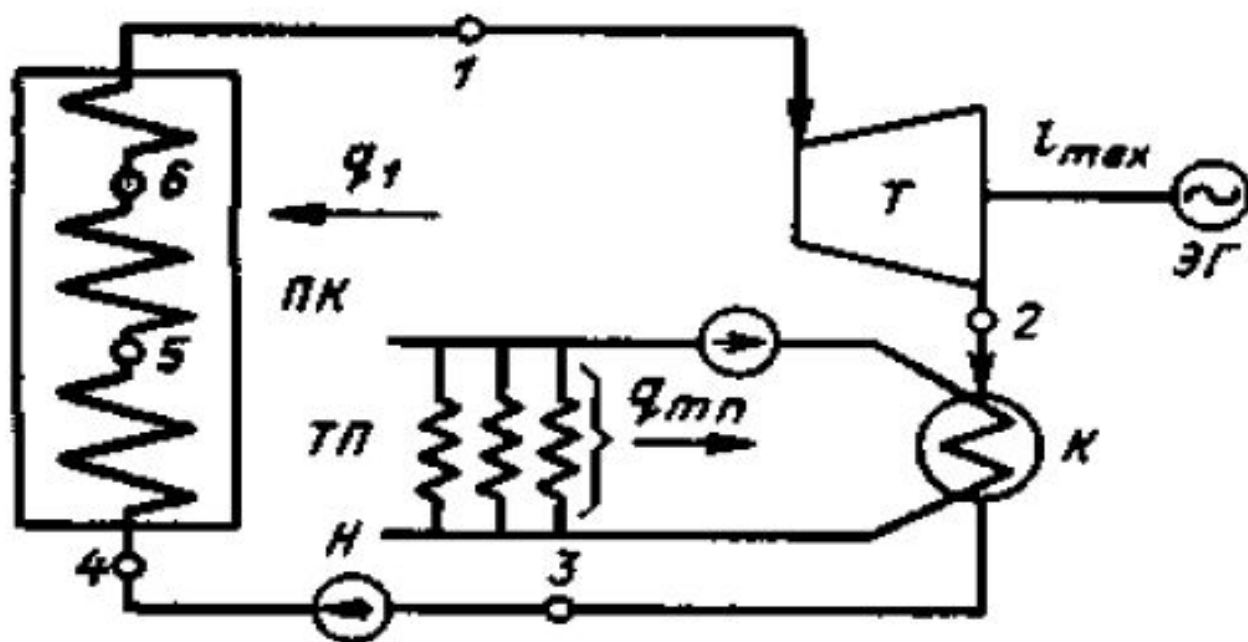


Рисунок 9.1. Схема установки для совместной выработки тепловой и электрической энергии: ПК – паровой котел; Т – паровая турбина; К – конденсатор-подогреватель; Н – насос; ТП – тепловой потребитель. Цифры соответствуют точкам цикла в  $T, s$  - диаграмме

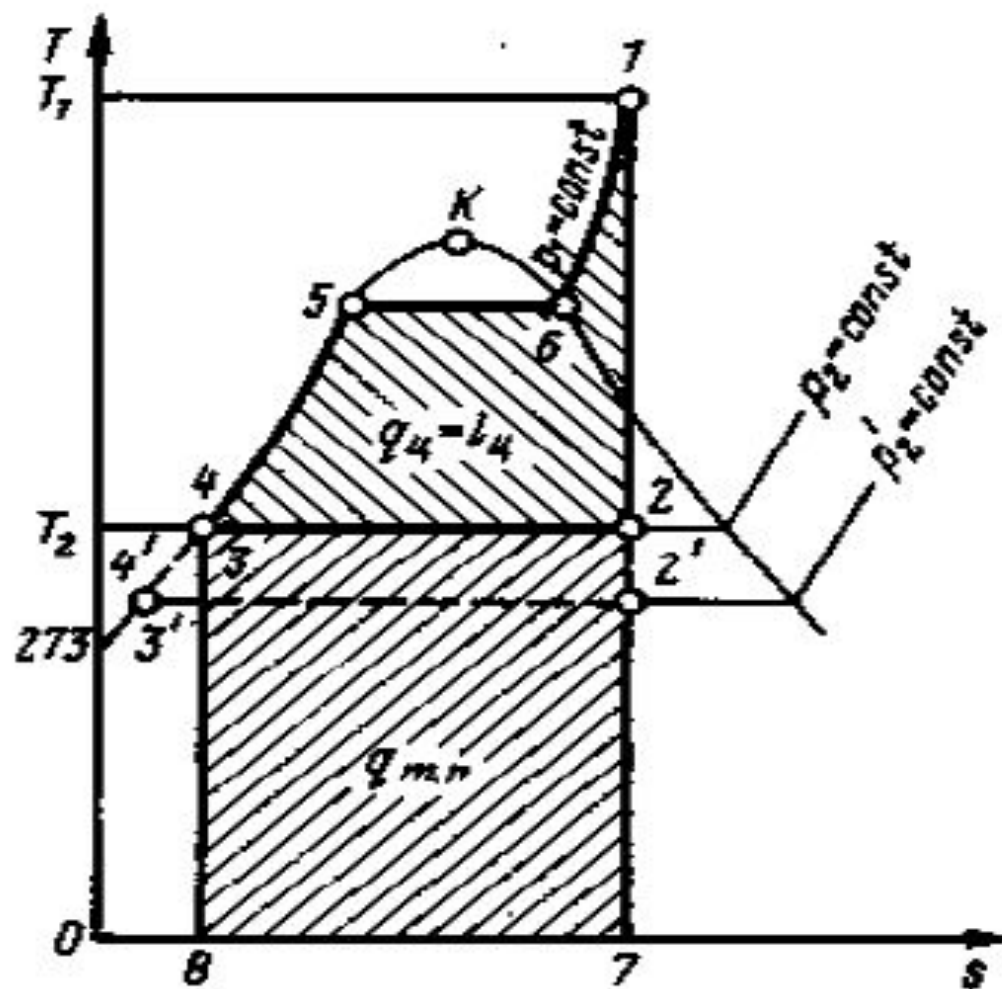


Рисунок 9.2. Теплофикационный цикл в  $T, s$  – диаграмме

При установке турбины с противодавлением каждый килограмм пара совершает полезную работу  $l_{\text{тех}}=h_1-h_2$  и отдает тепловому потребителю количество теплоты  $q_{\text{т.п}}=h_2-h/2$ . Мощность установки по выработке электроэнергии  $N_0=(h_1-h_2)D$  и ее тепловая мощность  $Q_{\text{т.п}}=(h_2-h/2)D$  пропорциональны расходу пара  $D$ , т.е. жестко связаны. Это неудобно на практике, ибо графики потребно-сти в электроэнергии и теплоте почти никогда не совпадают.

Чтобы избавиться от такой жесткой связи, на станциях широко применяют турбины с *регулируемым промежуточным отбором пара* (рисунок 9.3). Такая турбина состоит из двух частей: части высокого давления (ЧВД), в которой пар расширяется от давления  $p_1$  до давления  $p_{\text{отб}}$ , необходимого для теплового потребителя, и части низкого давления (ЧНД), где пар расширяется до давления  $p_2$  в конденсаторе. Через ЧВД проходит весь пар, вырабатываемый котлоагрегатом. Часть его  $D_{\text{отб}}$  (при давлении  $p_{\text{отб}}$ ) отбирается и поступает к тепловому по-ребителю ТП. Остальной пар в количестве  $D_{\text{к}}$  проходит через ЧНД в конденсатор К

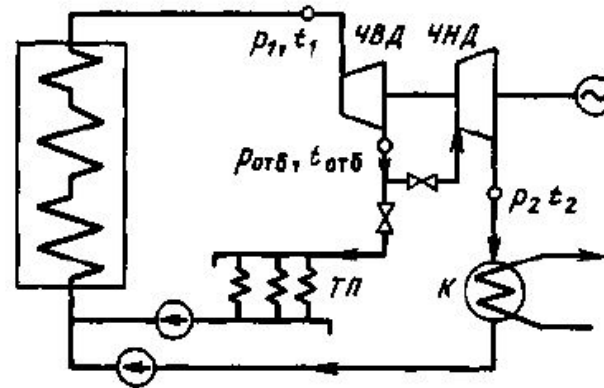


Рисунок 9.3. Установка турбины с регулируемым отбором пара

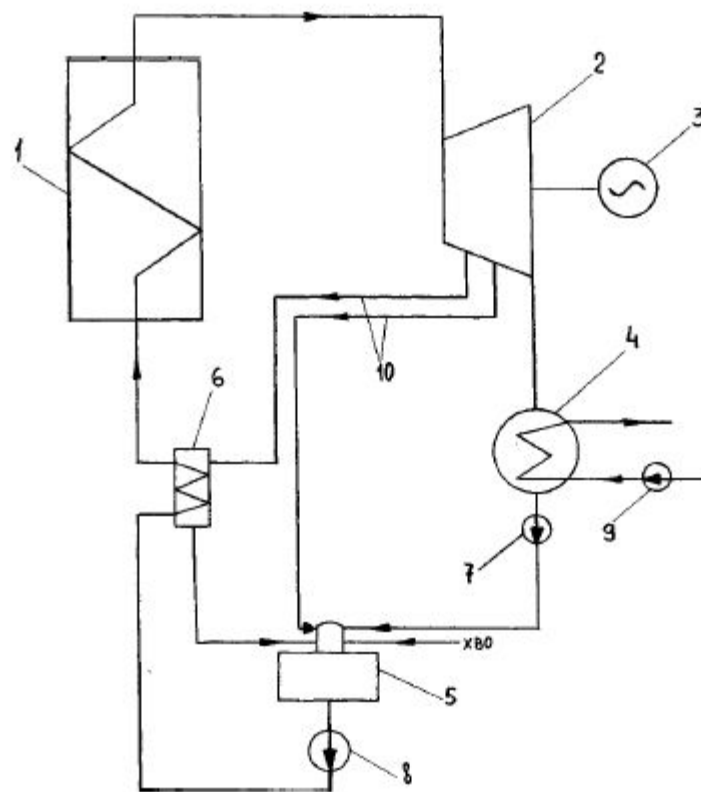
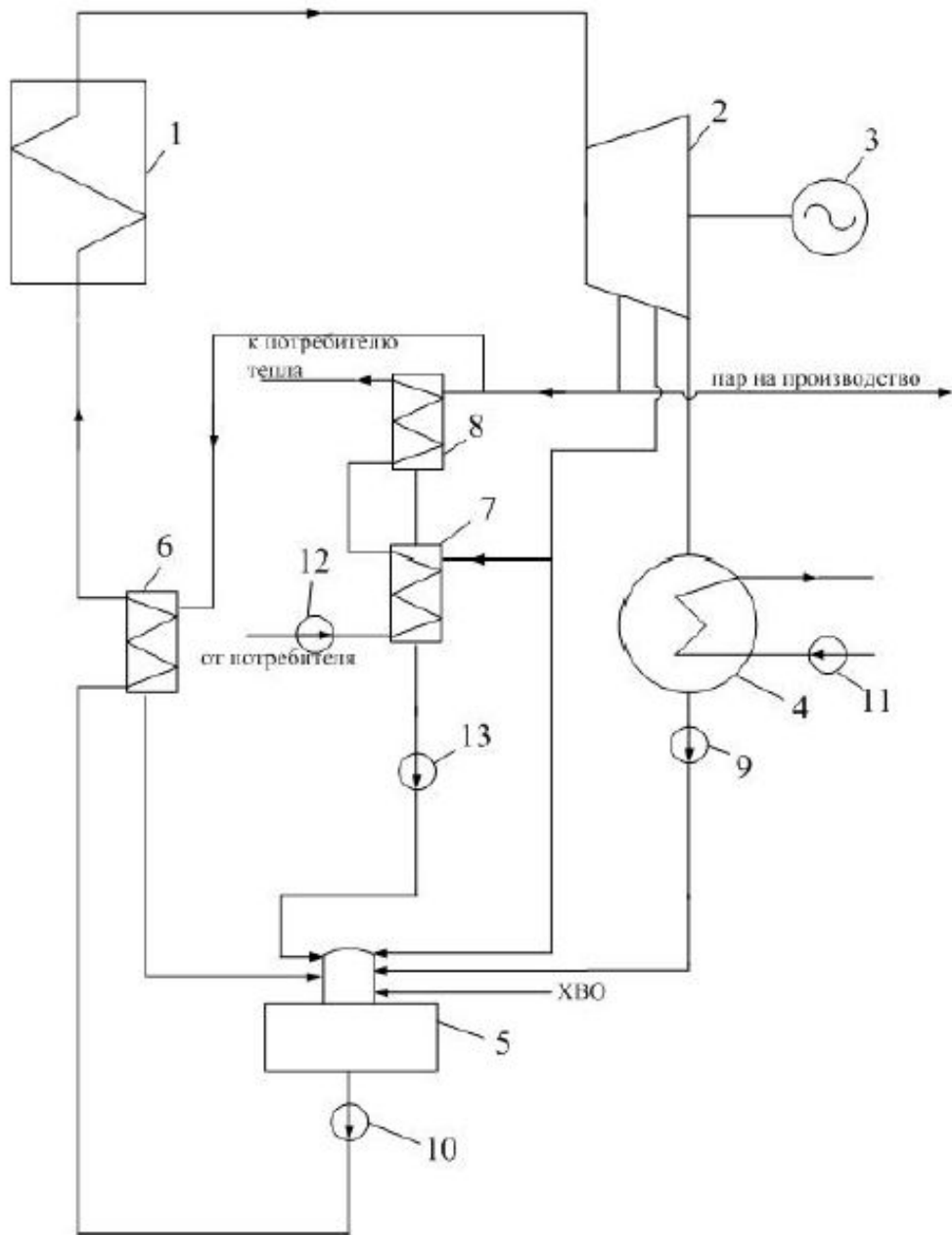


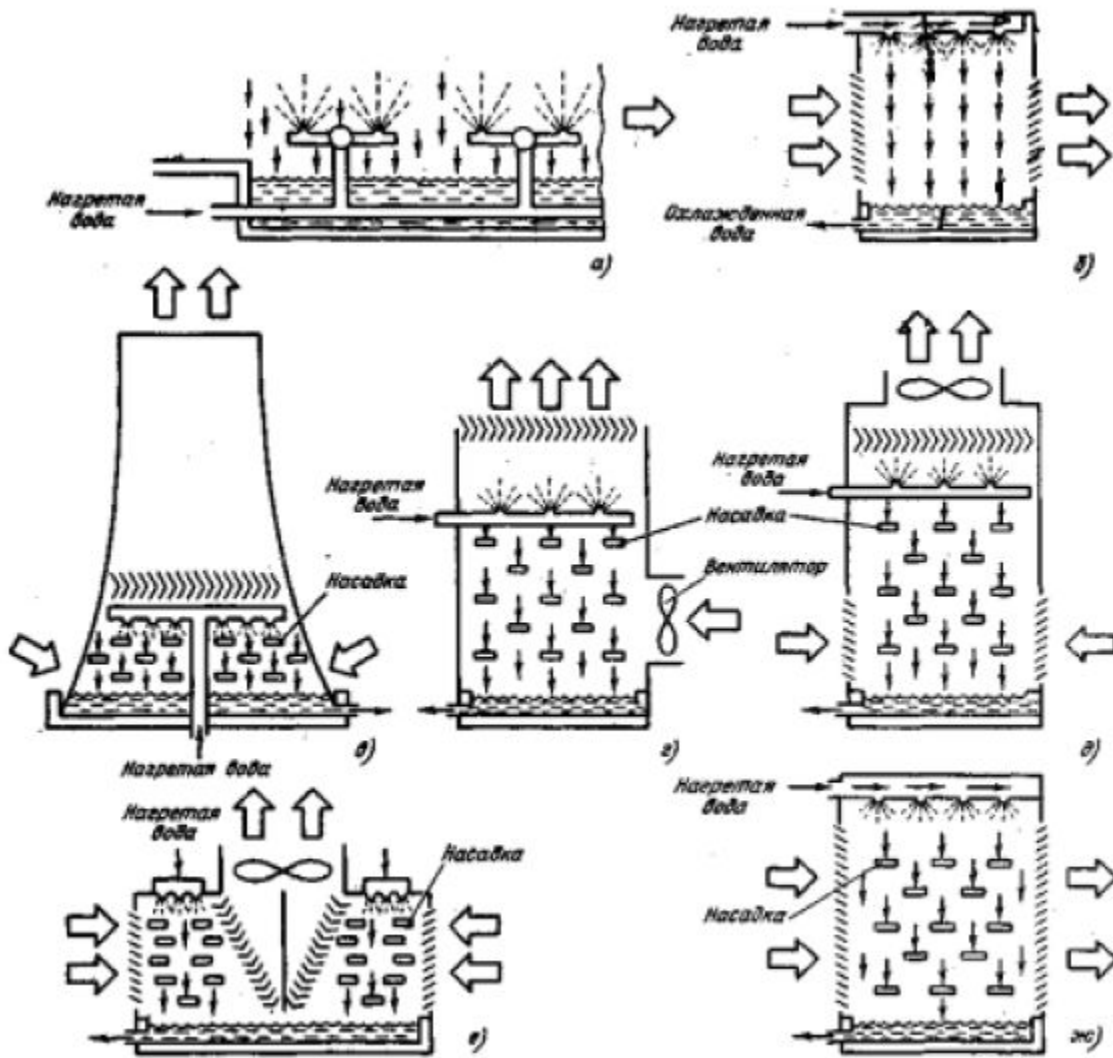
Рисунок 9.4. Типовая схема КЭС: 1 – паровой котел, 2 – конденсационная турбина, 3 – генератор, 4 – конденсатор, 5 – деаэратор, 6 – подогреватель питательной воды высокого давления, 7 – конденсатный насос, 8 – питательный насос, 9 – циркуляционный насос, 10 – нерегулируемые регенеративные отборы пара



Типовая схема ТЭЦ:

- 1 – паровой котел,
- 2 – теплофикационная турбина,
- 3 – генератор,
- 4 – конденсатор,
- 5 – деаэратор,
- 6 – подогреватель питательной воды высокого давления,
- 7 – подогреватель сетевой воды низкого давления,
- 8 – подогреватель сетевой воды высокого давления,
- 9 – конденсатный насос,
- 10 – питательный насос,
- 11 – циркулярный насос,
- 12 – сетевой насос,
- 13 – конденсатный насос подогревателей





## Охлаждающие устройства различных типов:

а – брызгальный бассейн;

б – открытая брызгальная градирня;

в – испарительная градирня с гиперболической башней;

г – градирня с принудительной циркуляцией воздуха;

д – градирня со всасывающим вентилятором и противоточным движением воздуха;

е – градирня со всасывающим вентилятором и поперечным движением воздуха;

ж – открытая градирня с оросительным устройством

### Тепловой баланс котла

Тепловой баланс котла – составляется с целью анализа эффективности работы котла и определения КПД. Тепловой баланс котла рассчитывается по прямому балансу и по обратному балансу.

КПД котла по прямому балансу:

$$\eta_k = \frac{D(i_{nm} - t_{no})}{B \cdot Q_p^n},$$

где  $D$  – количество произведенного пара;

$i_{nm}$  – теплосодержание перегретого пара;

$t_{no}$  – температура питательной воды;

$B$  – количество сожженного топлива;

$Q_p^n$  – теплотворная способность топлива.

КПД котла по обратному балансу:

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5,$$

$$100\% = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5,$$

где  $Q_p$  – располагаемая (внесенная в топку) теплота;

$Q_1, q_1$  – полезная теплота, используемая для выработки пара – 90 %;

$Q_2, q_2$  – потери тепла с уходящими газами – 6,0 %;

$Q_3, q_3$  – потери от химической неполноты сгорания – 0,5 %;

$Q_4, q_4$  – потери от механической неполноты сгорания – 3,0 %;

$Q_5, q_5$  – потери тепла в окружающую среду – 0,5 %;

КПД парового котла без учета затрат энергии на собственные нужды.

$$\eta_k = \frac{Q_1 \cdot 100}{Q_p}.$$

КПД современных котлов превышает 90%. Это довольно совершенные агрегаты.

# Основные формулы для расчета ПТУ

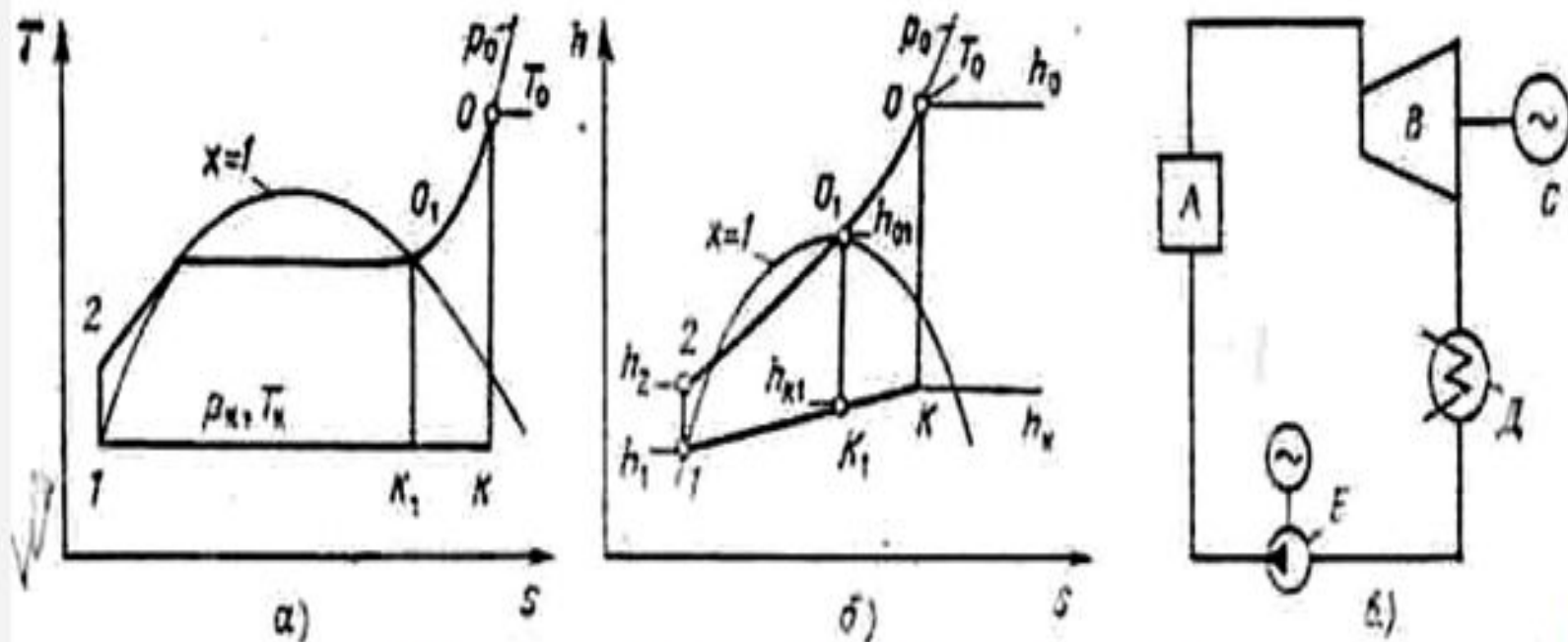


Рис.3.10. Термодинамический цикл Ренкина.

а)  $T, s$ -диаграмма на перегретом и насыщенном паре; б) процессы в  $h, s$ -диаграмме;

При идеальном протекании всех процессов энергетические показатели цикла на 1 кг перегретого пара определяются следующими соотношениями. ¶

→ Работа, совершенная паром, равна теоретически располагаемому (адиабатному) теплоперепаду ¶

$$\omega_t = \Delta h_a = h_0 - h_k. \quad \rightarrow \quad \text{¶}$$

Теплота, отведенная в конденсаторе от отработавшего пара, ¶

$$q_{омв} = h_k - h_1. \quad \rightarrow \quad \text{¶}$$

Работа сжатия воды в насосе ¶

$$\omega_{тн} = h_2 - h_1 = \vartheta(p_0 - p_k), \quad \text{¶}$$

где  $\vartheta$  — удельный объем воды. ¶

Теплота, подведенная к рабочему телу (располагаемая теплота турбины), ¶

$$q_0 = h_0 - h_2 = h_0 - [h_1 + \vartheta(p_0 - p_k)]. \quad \rightarrow \quad \text{¶}$$

Полезная теоретическая работа цикла ¶

$$\omega_{тн} = \omega_t - \omega_{тн}. \quad \rightarrow \quad \text{¶}$$

Теоретический КПД турбины и термический КПД цикла Ренкина: ¶

$$\eta_t = \omega_t / q_0; \quad \rightarrow \quad \text{¶}$$

$$\eta_{т.рен} = 1 - q_{омв} / q_0.$$

→ Для цикла на насыщенном паре используются аналогичные соотношения в которых энгалпии в точках 0 и К ( $h_0, h_k$ ) заменены энтальпиям в точках 0<sub>1</sub>, К<sub>1</sub> ( $h_{01}, h_{к1}$ ). ¶

В реальных турбинах работа, совершаемая килограммом пара  $\omega_i$  и называемая удельной внутренней работой, равна действительному теплоперепаду  $\Delta h_i$ , т.е. ¶

$$\omega_i = \Delta h_i \neq h_0 - h_k, \dots \rightarrow \quad \text{¶}$$

который меньше адиабатного из-за необратимости процесса расширения. ¶

Действительный теплоперепад в турбине определяется либо из детального поступенчатого расчета турбины, либо из соотношения ¶

$$\Delta h_i = \eta_{oi} \Delta h_a = \eta_{oi} (h_0 - h_k), \dots \rightarrow \quad \text{¶}$$

где  $\eta_{oi}$  - внутренний относительный КПД турбины или ее отдельных цилиндров. Если расчет турбины отсутствует, то  $\eta_{oi}$  обычно определяют по аналогам, эмпирическим формулам или графикам. ¶

С помощью равенств (3.8) и (3.9) определяется энтальпия пара за турбиной  $\rightarrow$  ¶

$$h_k = h_0 - \Delta h_i = h_0 - \eta_{oi} \Delta h_a \rightarrow \quad \text{¶}$$

и затем находится теплота отведенная в конденсаторе, ¶

$$q_{отв} = h_k - h_1 = h_0 - (\omega_i + h_1). \rightarrow \quad \text{¶}$$

Из конденсатора вода откачивается насосом. В насосе происходит сжатие воды, и ее энтальпия возрастает на величину  $\Delta h_n$ , равную внутренней работе насоса: ¶

$$\Delta h_n = \omega_{in} = \mathfrak{D}(p_n - p_k) / \eta_{гид}, \quad \rightarrow \quad ¶$$

где  $p_n$  — давление за насосом на 30—40% большее, чем перед турбиной, из-за потерь давления в пароводяном тракте;  $\eta_{гид}$  — гидравлический КПД насоса, учитывающий внутренние потери от трения, вихреобразования и т. п. Полная работа насоса  $\omega_n$  больше внутренней из-за потерь в подшипниках, а также из-за протечек воды и составляет ¶

$$\omega_n = \omega_{in} / \eta_m \eta_{об} = \mathfrak{D}(p_n - p_k) / \eta_n, \quad \rightarrow \quad ¶$$

где  $\eta_m, \eta_{об}$  — механический КПД насоса, учитывающий потери в подшипниках, и объемный КПД, учитывающий потери из-за протечек через уплотнения;  $\eta_n = \eta_{гид} \eta_m \eta_{об}$  — полный КПД насоса. ¶

Работа, затраченная на привод насоса (электроэнергия или энергия пара), частично возвращается в цикл в виде теплоты, а небольшую часть составляют потери в подшипниках и с протечками. ¶

Количество подведенной к 1 кг рабочего тела теплоты равно разности энтальпий пара и воды, поступающей из насоса в котел: ¶

$$q_0 = h_1 - h_2 = h_0 - (h_1 + \Delta h_n). \quad \rightarrow \quad ¶$$

Внутренний абсолютный КПД турбины ¶

$$\eta_i = \frac{\omega_i}{q_0} = \frac{\Delta h_i}{q_0} = \frac{\Delta h_a}{q_0} \eta_{0i}. \quad \rightarrow \quad ¶$$

Если турбина вращает генератор мощностью  $N_3$  киловатт, а 1 кг пара вырабатывает  $\omega_3$  килоджоулей электроэнергии, то секундный расход пара на турбину составит

$$D_0 = N_3 / \omega_3.$$

Полное количество теплоты, подведенной к турбине за 1 с, измеренное в килоджоулях в секунду или, что то же самое, в киловаттах, равно

$$Q_0 = q_0 D_0.$$

Отношение мощности турбогенератора к количеству подведенной за 1 с теплоты

$$\eta_i = \frac{\omega_i}{D_0} = \frac{\Delta h_i}{D_0} = \frac{\Delta h_a}{D_0} \eta_{0i}$$

называется КПД турбоустановки по выработке электроэнергии.

Отношение отпущенной мощности к подведенной к турбине теплоте

$$\eta_3^{\text{HT}} = N_3^{\text{HT}} / Q_0$$

есть КПД турбоустановки по отпуску электроэнергии или КПД нетто турбоустановки.

Тепловую экономичность турбоустановок часто характеризуют величиной обратной КПД по выработке электроэнергии и называемой удельным расходом теплоты на выработанную электроэнергию:

$$q_3 = 1 / \eta_3 \quad (\text{кВт} \cdot \text{ч})$$

или  $\rightarrow$

$$q_3 = Q_0 / N_3 \quad (\text{кДж} / (\text{кВт} \cdot \text{ч}))$$





# Практическое занятие

## Задача 2

Паровая турбина мощностью  $N=12000$  кВт работает при начальных параметрах  $p_1=80$  бар и  $t_1=450^\circ\text{C}$ . Давление в конденсаторе  $p_2=0,04$  бара. В котельной установке, снабжающей турбину паром, сжигается уголь с теплотой сгорания  $Q_{\text{н}}^{\text{p}}=25$  МДж/кг. КПД котельной установки равен  $\eta_{\text{к.у.}}=0,8$ . Температура питательной воды  $t_{\text{п.в.}}=90^\circ\text{C}$ .

Определить производительность котельной установки и часовой расход топлива при полной нагрузке паровой турбины и условий, что она работает по циклу Ренкина.

Порядок решения. Удельный расход пара турбины

$$d_o = \frac{3600}{h_1 - h_2}, \text{ кг}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}).$$

Энтальпию  $h_1$  и  $h_2$  находим по  $h$ - $s$  диаграмме.

Расход пара паровой турбиной  $D$

$$D_o = Nd_o, \text{ кг}/\text{ч},$$

где энтальпия питательной воды  $h_{\text{п.в.}} = C_p \cdot t_{\text{п.в.}}$ .

Часовой расход топлива  $B$  равен

$$B = \frac{D_o (h_1 - h_{\text{п.в.}})}{Q_{\text{н}}^{\text{p}} \cdot \eta_{\text{к.у.}}}, \text{ кг}/\text{ч}.$$

#### Задача 4

На заводской ТЭЦ установлены две паровые турбины с противодавлением мощностью  $N=4000$  кВт каждая. Весь пар из турбины направляется на производство, откуда он возвращается обратно в котельную в виде конденсата при температуре насыщения.

Турбины работают с полной нагрузкой при следующих параметрах пара:  $p_1=35$  бар,  $t_1=435^\circ\text{C}$ ,  $p_2=1,2$  бар.

Принимая, что установка работает по циклу Ренкина, определить часовой расход топлива, если КПД котельной  $\eta_{к.у.} = 0,84$ , а теплота сгорания топлива

$$Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 28500 \text{ кДж/кг.}$$

Порядок решения. Удельный расход пара  $d_o$  равен

$$d_o = \frac{3600}{h_1 - h_2}, \text{ кг/(кВт}\cdot\text{ч)},$$

где энтальпию  $h_1$  и  $h_2$  находим по  $h$ - $s$  диаграмме.

Часовой расход пара, потребляемый турбинами

$$D_o = 2Nd_o, \text{ кг/ч.}$$

Количество теплоты, потребляемой производством

$$Q_{\text{пр}} = D_o (h_2 - h'_2), \text{ кДж/ч},$$

где  $h'_2 = C_p t_H$ , а  $t_H = f(p_2)$ .

Количество теплоты, сообщенного пару в котельной

$$Q = D_o (h_1 - h'_2), \text{ кДж/ч}.$$

Часовой расход топлива  $B$  равен

$$B = \frac{Q}{Q_H^P \eta_{\text{ку}}}, \text{ кг/ч}.$$

## Задача 5

Для условий предыдущей задачи подсчитать расход топлива в случае, если вместо комбинированной выработки электрической и тепловой энергии на ТЭЦ будет осуществлена раздельная выработка электроэнергии в конденсационной установке и теплоты в котельной низкого давления.

Конечное давление пара в конденсационной установке принять  $p_2 = 0,04$  бар. КПД котельной низкого давления принять тот же, что для котельной высокого давления,  $\eta_{к.у.} = 0,84$ .

Определить для обоих случаев коэффициент использования теплоты.

Порядок решения. Удельный расход пара на турбину

$$d_o = \frac{3600}{h_1 - h_2}, \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч}),$$

где  $h_1, h_2$  находим по  $h$ - $s$  диаграмме.

Полный расход пара на турбину

$$D_o = 2Nd_o, \text{ кг}/\text{ч}.$$

Количество теплоты, сообщенного пару в котельной,

$$Q = D_o (h_1 - h'_2), \text{ кДж}/\text{ч},$$

где  $h'_2 = C_p t_n$ ;  $t_n = f(p_2) = 29^\circ\text{C}$ ,  $C_p = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ .

Расход топлива  $B_1$  в котельной высокого давления

$$B_1 = \frac{Q}{Q_H^p \eta_{ку}}, \text{ кг/ч.}$$

Количество теплоты, потребляемого производством  $Q_{пр}$  (задача 4), следовательно, расход топлива в котельной низкого давления

$$B_2 = \frac{Q_{пр}}{Q_H^p \eta_{ку}}, \text{ кг/ч.}$$

Суммарный расход топлива в обеих котельных установках  $B_o = B_1 + B_2$ , кг/ч.

Экономия топлива на ТЭЦ в сравнении с отдельной выработкой электроэнергии и теплоты составит

$$\frac{(B_o - B)}{B_o} \cdot 100 \%$$

Коэффициент использования теплоты определяется как отношение всей полезно использованной теплоты ко всей затраченной. Следовательно, в случае комбинированной выработки электроэнергии и теплоты

$$\eta_{\text{к.т.}} = \frac{3600 \cdot 2N + Q_{\text{пр}}}{B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к.у.}}}$$

В случае раздельной выработки обоих видов энергии

$$\eta'_{\text{к.т.}} = \frac{3600 \cdot 2N + Q_{\text{пр}}}{B_{\text{о}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к.у.}}}$$

$$\eta'_{\text{к.т.}} < \eta_{\text{к.т.}}$$

# Расчетная работа «Расчет отпуска теплоты от ТЭЦ»

## • Задача №1 ¶

Рассчитать годовой отпуск теплоты от ТЭЦ отдельно для производственно-технологических и коммунально-бытовых потребителей. Данные для расчета взять по таблицам 1, 2, 3. Построить годовой график производственного технологического теплоснабжения. ¶

## • Решение задачи №1 ¶

1. Производственно-технологическое потребление тепла ¶

1.1 Расчетная производственно-технологическая нагрузка ¶

$$Q_n^p = D_n^p [h_n - \beta_{ок} (h_{ок} - h_{xz}) - h_{xz}] (1 + q_n), \text{ МВт} ¶$$

¶

Численное значение энтальпии определяется по h-s диаграмме. Долю тепловых потерь в паропроводе принять в диапазоне 0,06...0,1. ¶

1.2 Энтальпия обратного конденсата ¶

$$h_{ок} = c \cdot t_{ок}, \text{ КДж/кг} ¶$$

¶

1.3 Энтальпия холодной воды зимой ¶

$$h_{xz} = c \cdot t_{xz}, \text{ КДж/кг} ¶$$



### 1.3 Энтальпия холодной воды зимой

$$h_{xz} = c \cdot t_{xz}, \text{ кДж/кг}$$

¶

Температуру холодной воды зимой принять равной 5 °С.

### 1.4 Годовой отпуск пара на производственно-технологические нужды

$$D_n^p = D_n^p \cdot h_n^{\text{ГЭЦ}}, \text{ т/год}$$

¶

1.5. Годовой отпуск теплоты на производственно-технологические нужды

$$Q_n^r = Q_n^p \cdot h_n^{\text{ГЭЦ}}, \text{ ГДж}$$

Затем строится годовой график производственно-технологического теплоснабжения:

$$Q_{ii} = \overline{Q_{ii}} \cdot \frac{Q_i^{\tilde{a}}}{\sum_{i=1}^{12} \overline{Q_{ii}}}$$

где  $Q_{ni}$  – отпуск теплоты за текущий месяц, ГДж;

$\overline{Q_{ii}}$  – отпуск теплоты за текущий месяц в относительных единицах, ГДж (по приложению 1).

## 2. Коммунально-бытовое потребление тепла

### 2.1 Расчетная нагрузка отопления

$$Q_o^p = q_o A (1 + k_1) = q_o m f (1 + k_1), \text{ МВт}$$

¶

¶

По приложению 2. Норму общей площади в жилых зданиях на 1 человека принять равно 18 м<sup>2</sup>/чел. Коэффициент, учитывающий долю теплового потока на отопление общественных зданий, принять равным 0,25.

### 2.2 Расчетная нагрузка вентиляции

$$Q_v^p = k_1 k_2 q_o m f, \text{ МВт (или ГДж/ч)}$$

Коэффициент, учитывающий долю теплового потока на вентиляцию общественных зданий, принять равным 0,6.

### 2.3 Расчетная нагрузка горячего водоснабжения

$$Q_r^p = q_r m, \text{ МВт (или ГДж/ч)}$$

¶

Укрупненный показатель среднего теплового потока на горячее водоснабжение на 1 человека взять 376 Вт/чел.

### 2.4 Расчетная нагрузка коммунально-бытовых потребителей

$$Q_k^p = Q_o^p + Q_v^p + Q_r^p, \text{ МВт (или ГДж/ч)}$$

### 3. Средние тепловые нагрузки¶

#### 3.1. Средняя нагрузка отопления¶

$$Q_o^{cp} = Q_o^p \frac{t_z - t_o}{t_z - t_o^p}, \text{ МВт (или ГДж/ч)} ¶$$

¶

Среднюю температуру внутреннего воздуха отапливаемых зданий принять, равной  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  для жилых и общественных зданий, равной  $16 \text{ }^\circ\text{C}$  — для производственных зданий. Расчетную температуру наружного воздуха для отопления и среднюю температуру наружного воздуха за отопительный период найти по приложению 3.¶

#### 3.2. Средняя нагрузка вентиляции¶

$$Q_z^{cp} = Q_z^p \frac{t_z - t_o}{t_z - t_z^p}, \text{ МВт (или ГДж/ч)} ¶$$

¶

#### 3.3. Средняя нагрузка горячего водоснабжения за отопительный период¶

$$Q_r^{cp} = Q_r^p, \text{ МВт (или ГДж/ч)} ¶$$

### 3. Средние тепловые нагрузки¶

#### 3.1. Средняя нагрузка отопления¶

$$Q_o^{cp} = Q_o^p \frac{t_z - t_o}{t_z - t_o^p}, \text{ МВт (или ГДж/ч)} ¶$$

¶

Среднюю температуру внутреннего воздуха отапливаемых зданий принять, равной  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  для жилых и общественных зданий, равной  $16 \text{ }^\circ\text{C}$  — для производственных зданий. Расчетную температуру наружного воздуха для отопления и среднюю температуру наружного воздуха за отопительный период найти по приложению 3. ¶

#### 3.2. Средняя нагрузка вентиляции¶

$$Q_z^{cp} = Q_z^p \frac{t_z - t_o}{t_z - t_z^p}, \text{ МВт (или ГДж/ч)} ¶$$

¶

#### 3.3. Средняя нагрузка горячего водоснабжения за отопительный период¶

$$Q_r^{cp} = Q_r^p, \text{ МВт (или ГДж/ч)} ¶$$

3.4 → Средняя нагрузка горячего водоснабжения за неотапительный период¶

$$Q_{\text{гп}}^{\text{ср}} = Q_{\text{г}}^{\text{ср}} \frac{55 - t_{\text{хп}}}{55 - t_{\text{х}}} \beta, \text{ МВт} \quad \uparrow$$

Температуры холодной воды в отопительный и неотапительный периоды принять равными соответственно  $5^{\circ}\text{C}$  и  $15^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент, принять равным 0,8 для жилых и общественных зданий; 1,5 — для курортных и южных городов; ... 1 — для промышленных предприятий.¶

3.5 Средняя нагрузка коммунально-бытовых потребителей за отопительный период¶

$$Q_{\text{к}}^{\text{ср}} = Q_{\text{о}}^{\text{ср}} + Q_{\text{в}}^{\text{ср}} + Q_{\text{г}}^{\text{ср}}, \text{ МВт (или ГДж/ч)}. \quad \uparrow$$

#### 4. Годовые расходы теплоты¶

##### 4.1. Годовой расход теплоты на отопление¶

$$Q_o^r = Q_o^{cp} h_o, \text{ГДж}¶$$

Длительность отопительного периода взять в приложении 3.¶

##### 4.2. Годовой расход теплоты на вентиляцию¶

$$Q_v^r = Q_v^{cp} h_o \frac{z}{24}, \text{ГДж}¶$$

¶

Время работы системы вентиляции общественных зданий за сутки принять равным 16 ч.¶

##### 4.3. Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение¶

$$Q_r^r = Q_r^{cp} h_o + Q_{rn}^{cp} (8400 - h_o), \text{ГДж}¶$$

¶

##### 4.4. Годовой расход теплоты на коммунально-бытовые нужды¶

$$Q_k^r = Q_o^r + Q_v^r + Q_r^r, \text{ГДж}¶$$

Таблица 1

| Величина                     | Исходные данные по сумме двух последних цифр шифра |            |          |         |             |        |           |              |            |          |
|------------------------------|--|------------|----------|---------|-------------|--------|-----------|--------------|------------|----------|
|                              | 0  | 1          | 2        | 3       | 4           | 5      | 6         | 7            | 8          | 9        |
| $D^p_{\text{н}}$ , кг/с      | 30   | 50         | 100      | 150     | 200         | 250    | 300       | 350          | 400        | 450      |
| $\gamma_{\text{ст}}$         | 0,16   | 0,15       | 0,14     | 0,13    | 0,12        | 0,11   | 0,10      | 0,09         | 0,08       | 0,07     |
| Климатические условия города | С.-Петербурга                                      | Верхоянска | Костромы | Братска | Риги        | Перми  | Вильнюса  | Архангельска | Волгограда | Иркутска |
|                              | 10   | 11         | 12       | 13      | 14          | 15     | 16        | 17           | 18         |          |
| $D^p_{\text{н}}$ , кг/с      | 500  | 550        | 600      | 650     | 700         | 750    | 800       | 850          | 900        |          |
| $\gamma_{\text{ст}}$         | 0,06   | 0,05       | 0,06     | 0,07    | 0,08        | 0,07   | 0,06      | 0,05         | 0,06       |          |
| Климатические условия города | Куйбышева  | Якутска    | Иваново  | Киева   | Красноярска | Москвы | Мурманска | Керчи        | Тюмени     |          |



Таблица 2

| Величина         | Исходные данные по последней цифре шифра |       |             |       |             |       |             |       |             |       |
|------------------|--|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
|                  | 0  | 1     | 2           | 3     | 4           | 5     | 6           | 7     | 8           | 9     |
| m, тыс.чел       | 100                                      | 90    | 80          | 70    | 100         | 90    | 80          | 70    | 80          | 90    |
| Топливо          | Газ (мазут)                              | Уголь | Газ (мазут) | Уголь | Газ (мазут) | Уголь | Газ (мазут) | Уголь | Газ (мазут) | Уголь |
| $Q_H^P$ , МДж/кг | 48,65                                    | 15,91 | 48,71       | 16,71 | 49,01       | 17,25 | 49,52       | 18,92 | 50,31       | 20,52 |

Таблица 3

| Величина                       | Исходные данные по предпоследней цифре шифра |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | 0  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| $p_{ш}$ , МПа                  | -  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 0,95 | 0,85 | 0,75 |
| $t_{ш}$ , °C                   | -  | 180  | 190  | 200  | 210  | 220  | 225  | 220  | 215  | 205  |
| $\beta_{ок}$                   | -  | 0,5  | 0,55 | 0,6  | 0,65 | 0,7  | 0,75 | 0,8  | 0,85 | 0,9  |
| $t_{ок}$ , °C                  | -  | 95   | 95   | 95   | 95   | 95   | 95   | 95   | 95   | 95   |
| $h^{\square}_{ГЭЦ}$ ,<br>ч/год | -  | 4300 | 4500 | 4700 | 5000 | 5200 | 5500 | 5700 | 5300 | 4400 |

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### П.1. Средние технологические нагрузки (относительные)

| Месяц   |           | 1 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|---|-----------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Годовое время использования максимума технологической нагрузки<br>$h_{ТЭЦ}^n$ , ч/год | 4300-4600 | 1 | 0,92 | 0,81 | 0,65 | 0,59 | 0,57 | 0,55 | 0,56 | 0,63 | 0,75 | 0,88 | 0,95 |
|   | 4700-5000 | 1 | 0,95 | 0,89 | 0,76 | 0,67 | 0,61 | 0,59 | 0,61 | 0,67 | 0,78 | 0,89 | 0,96 |
|   | 5000-5300 | 1 | 0,97 | 0,92 | 0,77 | 0,68 | 0,64 | 0,63 | 0,65 | 0,71 | 0,83 | 0,91 | 0,97 |

### П. 2 Укрупненные показатели максимального теплового потока на отопление жилых зданий (5 этажей и более) $q_0$ , Вт/м<sup>2</sup>

|  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Расчетная температура для отопления $t_0$ , °С * | -5 | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 | -35 | -40 | -45 | -50 | -55 |
| Здания постройки до 1985г.                       | 65 | 70  | 77  | 79  | 86  | 88  | 98  | 102 | 109 | 115 | 122 |
| То же после 1985г.                               | 65 | 67  | 70  | 73  | 81  | 87  | 91  | 95  | 100 | 102 | 108 |

\* Для промежуточных значений  $t_0$  соответствующие значения  $q_0$  определяются интерполяцией.

П. 3 Укрупненные показатели среднего теплового потока на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий при температуре воды 55°С  $q_{гв}$ , Вт/чел.

Средняя за отопительный период норма расхода горячей воды на одного человека в сутки.

|  | л/сут | $q_{гв}$ , Вт/чел. |
|--|-------|--------------------|
| в жилых домах с душами без ванн  | 85    | 320                |
| в жилых домах с сидячими ваннами и душами  | 95    | 322                |
| в жилых домах с ваннами длиной 1,5-1,7 м и душами                                  | 105   | 376                |
| в жилых домах высотой более 12 этажей с повышенными требованиями к благоустройству | 115   | 407                |

#### П. 4 Климатологические данные городов

| Город        | Температура наружного воздуха, °С |                                  |                                      | Продолжительность отопительного периода, ho, ч | Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха (и ниже), °С |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              | расчетная для отопления $t^p_o$   | расчетная для вентиляции $t^p_a$ | средняя за отопительный период $t_b$ |  | -50  | -45  | -40  | -35  | -30  | -25  | -20  | -15  | -10  | -5   | 0    | 5    | 8    |
| Верхоянск    | -59                               | -51                              | -25,2                                | 6528   | 756  | 1389 | 2017 | 2512 | 2958 | 3345 | 3674 | 4015 | 4392 | 4799 | 5313 | 5975 | 6528 |
| Якутск       | -55                               | -45                              | -21,2                                | 6096   | -  | 587  | 1094 | 1617 | 2190 | 2652 | 3075 | 3485 | 3879 | 4333 | 4856 | 5368 | 6096 |
| Братск       | -43                               | -30                              | -10,3                                | 5904   | -  | 21   | 96   | 236  | 478  | 861  | 1343 | 2021 | 2752 | 3439 | 4214 | 5143 | 5904 |
| Красноярск   | -40                               | -22                              | -7,2                                 | 5640   | -  | -    | 17   | 83   | 212  | 475  | 839  | 1378 | 2149 | 3054 | 3986 | 5028 | 5640 |
| Иркутск      | -37                               | -25                              | -8,9                                 | 5784   | -  | -    | 7    | 57   | 171  | 454  | 856  | 1712 | 2569 | 3273 | 3997 | 4988 | 5784 |
| Тюмень       | -37                               | -21                              | -7,5                                 | 5280   | -  | -    | 5    | 24   | 114  | 284  | 653  | 1233 | 2065 | 2975 | 3835 | 4743 | 5280 |
| Пермь        | -35                               | -20                              | -6,4                                 | 5424   | -  | -    | -    | 18   | 86   | 227  | 520  | 1091 | 1904 | 2885 | 3844 | 4855 | 5244 |
| Архангельск  | -31                               | -19                              | -4,7                                 | 6024   | -  | -    | -    | 27   | 80   | 211  | 439  | 869  | 1570 | 2672 | 3939 | 5371 | 6024 |
| Кострома     | -31                               | -16                              | -4,5                                 | 5376   | -  | -    | -    | 3    | 22   | 79   | 244  | 618  | 1268 | 2235 | 3459 | 4682 | 5376 |
| Куйбышев     | -30                               | -18                              | -6,1                                 | 4944   | -  | -    | -    | -    | 11   | 113  | 398  | 883  | 1475 | 2330 | 3343 | 4326 | 4944 |
| Иваново      | -29                               | -16                              | -4,4                                 | 5208   | -  | -    | -    | -    | 36   | 94   | 262  | 612  | 1256 | 2011 | 3188 | 4460 | 5208 |
| Мурманск     | -27                               | -18                              | -3,3                                 | 6744   | -  | -    | -    | -    | 6    | 38   | 134  | 448  | 1106 | 2253 | 3962 | 5785 | 6744 |
| Москва       | -26                               | -15                              | -3,6                                 | 4920   | -  | -    | -    | -    | 15   | 46   | 167  | 404  | 874  | 1674 | 2927 | 4260 | 4920 |
| С.-Петербург | -26                               | -11                              | -2,2                                 | 5256   | -  | -    | -    | -    | -    | 21   | 83   | 274  | 711  | 1539 | 2889 | 4575 | 5256 |

Окончание П. 4 Климатологические данные городов

| Город     | Температура наружного воздуха, °С |                          |                                | Продолжительность отопительного периода, h, ч | Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха (и ниже), °С |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |  |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|---|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--|
|           | расчетная для отопления           | расчетная для вентиляции | средняя за отопительный период |   | -50  | -45 | -40 | -35 | -30 | -25 | -20 | -15 | -10 | -5   | 0    | 5    | 8    |  |
| Волгоград | -25                               | -13                      | -3,4                           | 4368  | -  | -   | -   | -   | -   | 13  | 129 | 432 | 954 | 1692 | 2873 | 3921 | 4368 |  |
| Вильнюс   | -23                               | -9                       | -0,9                           | 4656  | -  | -   | -   | -   | -   | 3   | 22  | 126 | 399 | 1031 | 2273 | 3847 | 4656 |  |
| Киев      | -22                               | -10                      | -1,1                           | 4488  | -  | -   | -   | -   | -   | 5   | 36  | 166 | 502 | 1129 | 2354 | 3834 | 4488 |  |
| Рига      | -20                               | -8                       | -0,4                           | 4920  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | 14  | 91  | 351 | 904  | 2106 | 3922 | 4920 |  |
| Керчь     | -15                               | -4                       | -2,2                           | 3672  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 12  | 89  | 373  | 1239 | 2639 | 3672 |  |

### П.5 Отпуск теплоты отТЭЦ

| №<br>п/п | Потребители   | Нагрузка  |       |              |
|----------|---|-----------|-------|--------------|
|          |   | расчетная |       | годовая, ГДж |
|          |   | МВт       | ГДж/ч |              |
| 1.       | Технологические (пар)   |           |       |              |
| 2.       | Коммунально-бытовые<br>Отопление<br>Вентиляция<br>Горячее водоснабжение |           |       |              |
|          |   |           |       |              |
|          |   |           |       |              |
| 3.       | Сантехнические<br>потребители   |           |       |              |
| 4.       | Потребители теплоты по<br>сетевой воде                                  |           |       |              |