

# Вторичные энергетические ресурсы

Сухоцкий Альберт Борисович

- 1. Совместная работа котлов-утилизаторов с воздухоподогревателями.**
- 2. Использование энергии дымовых газов для выработки механической и электрической энергии.**
- 3. Химическая регенерация теплоты высокотемпературных отходящих газов.**
- 4. Глубокое охлаждение продуктов сгорания.**
- 5. Охлаждение конструктивных элементов высокотемпературных установок**

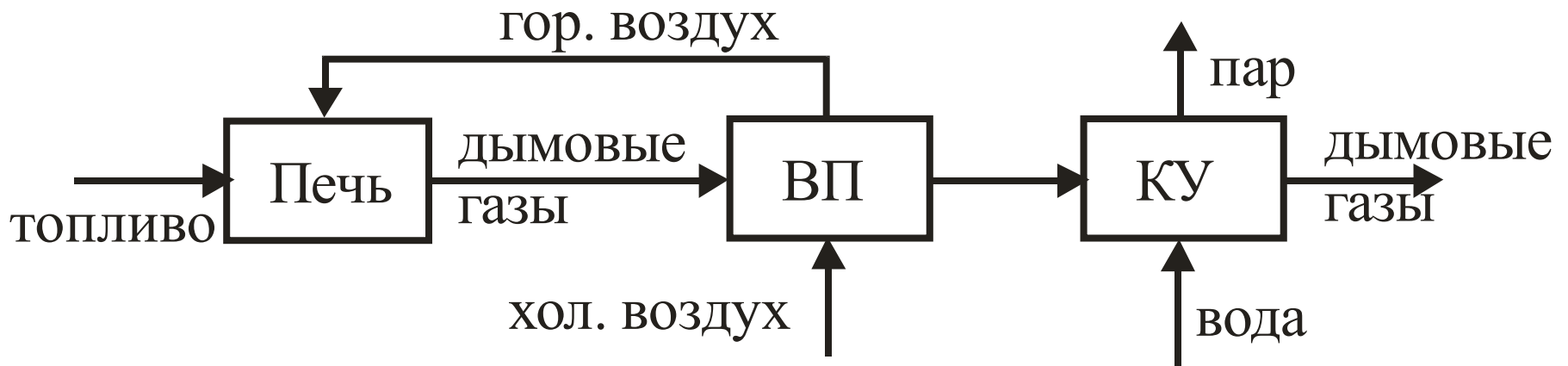
# Совместная работа котлов-утилизаторов с воздухоподогревателями

Тепло дымовых газов может использоваться для подогрева воздуха подаваемого на горение в технологическую печь.

Схемы включения воздухоподогревателей:

- первичная,
- вторичная,
- комбинированная.

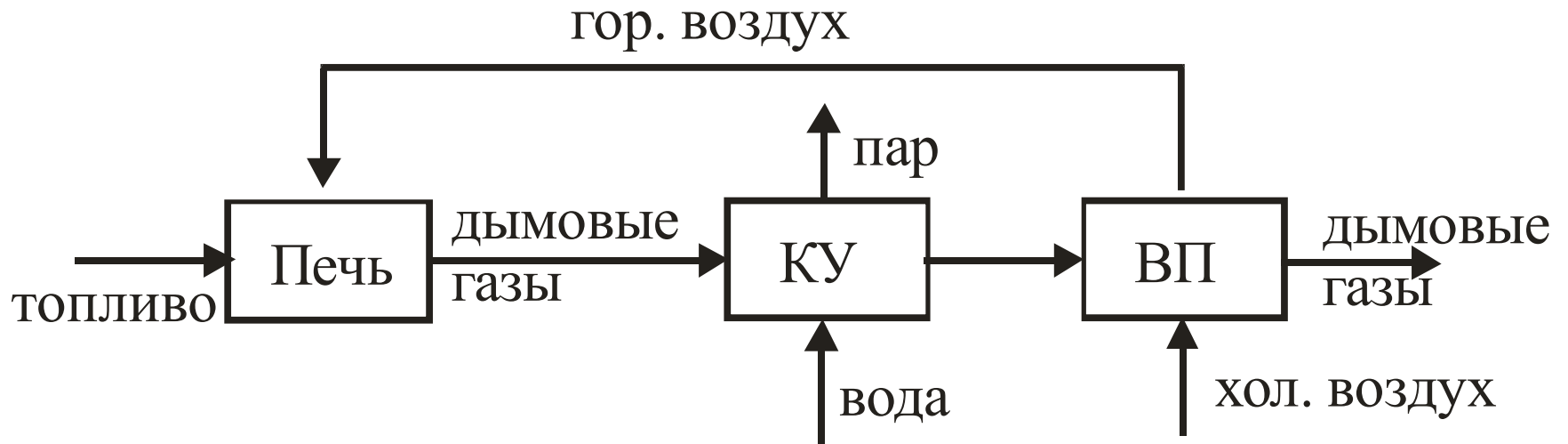
# Первичная схема



Не эффективное использование тепла  
дымовых газов.

Данную схему применяют когда хотят  
получить высокие температуры в  
технологической печи за счет нагрева воздуха.

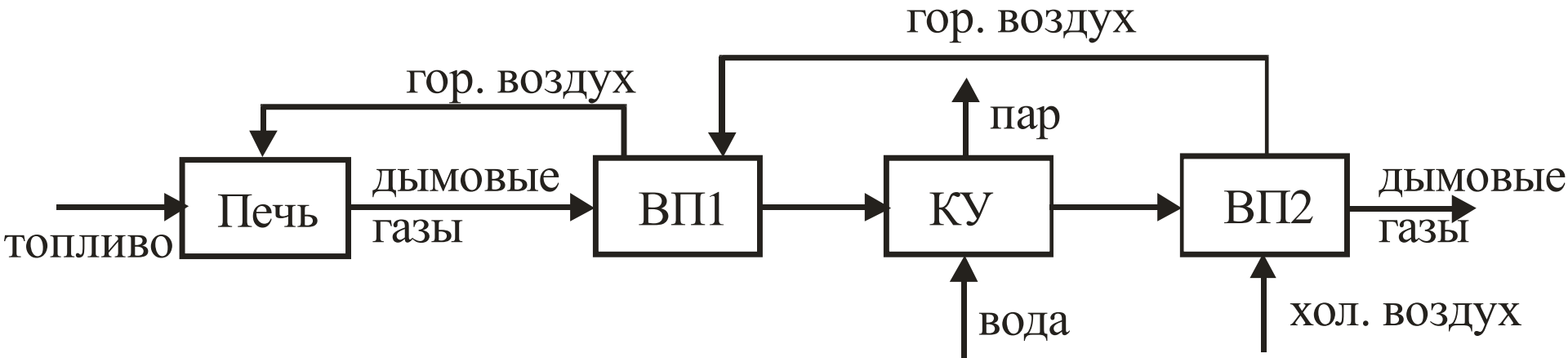
# Вторичная схема



Самое эффективное использование тепла ДЫМОВЫХ ГАЗОВ.

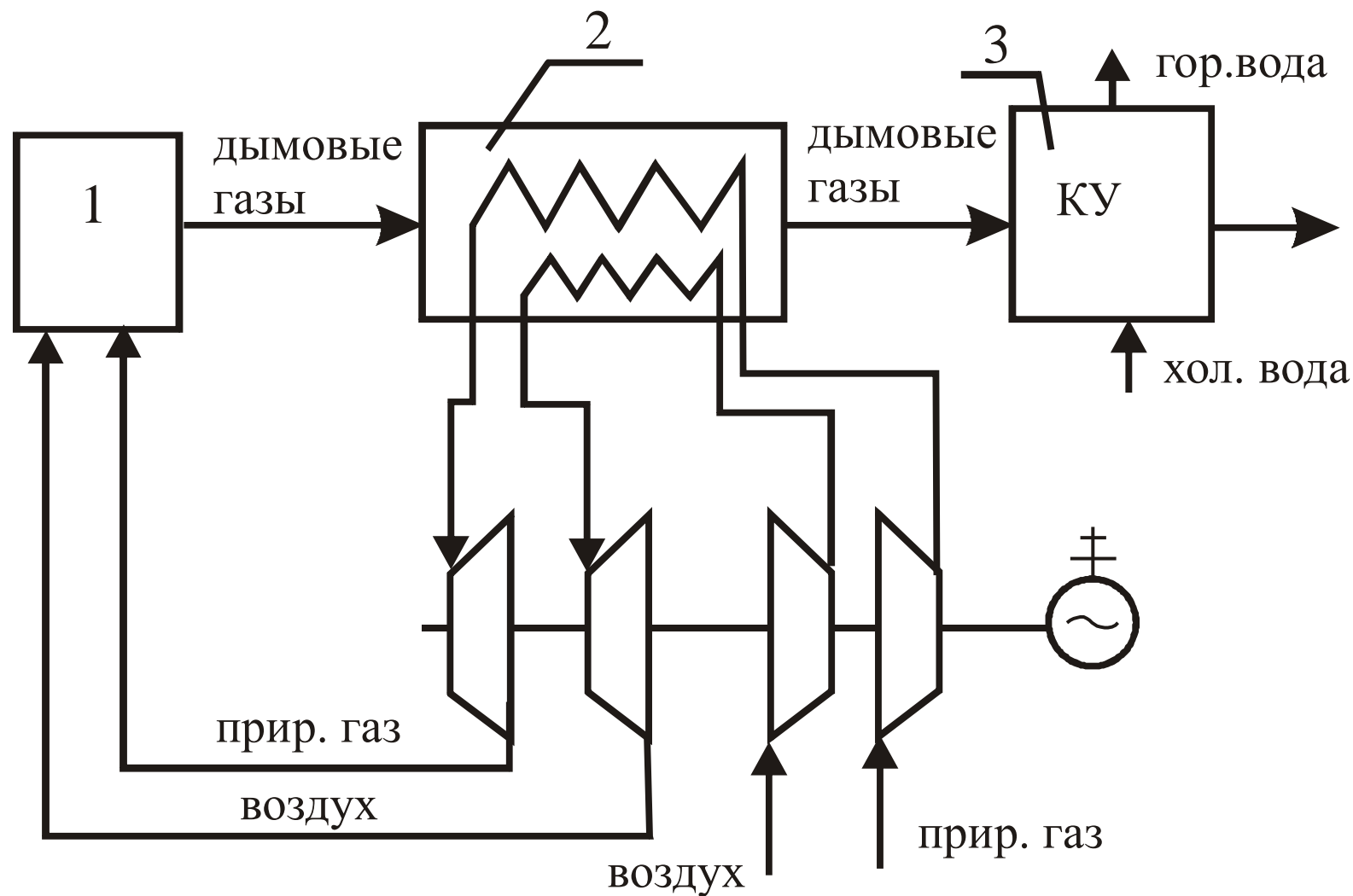
Данную схему применяют когда не требуется нагрев воздуха до высоких температур.

# Комбинированная схема.



Даная более сложная схема является компромиссной между первичной и вторичной.

# Использование энергии дымовых газов для выработки механической и электрической энергии

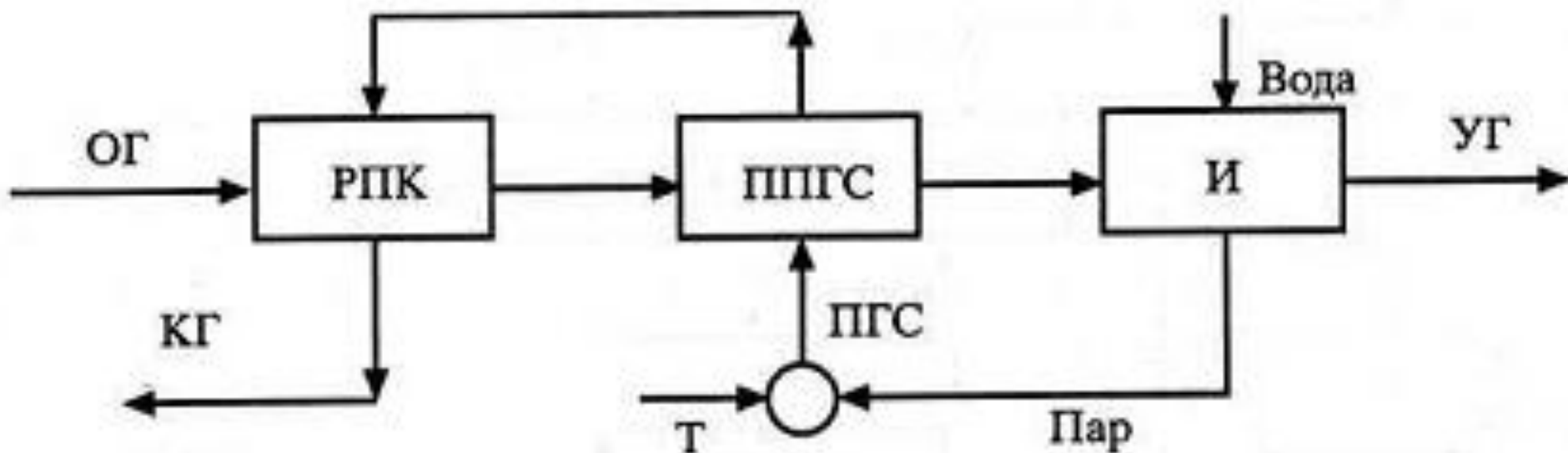


# **Химическая регенерация теплоты высокотемпературных отходящих газов**





# Схема системы термохимической регенерации



ОГ – газовые отходы стекловаренной установки, РПК – ректор паровой конверсии, ППГС – подогреватель парогазовой смеси, И – испаритель, Т – топливо, ПГС – парогазовая смесь, КГ – конвертированный газ, УГ – уходящие газы

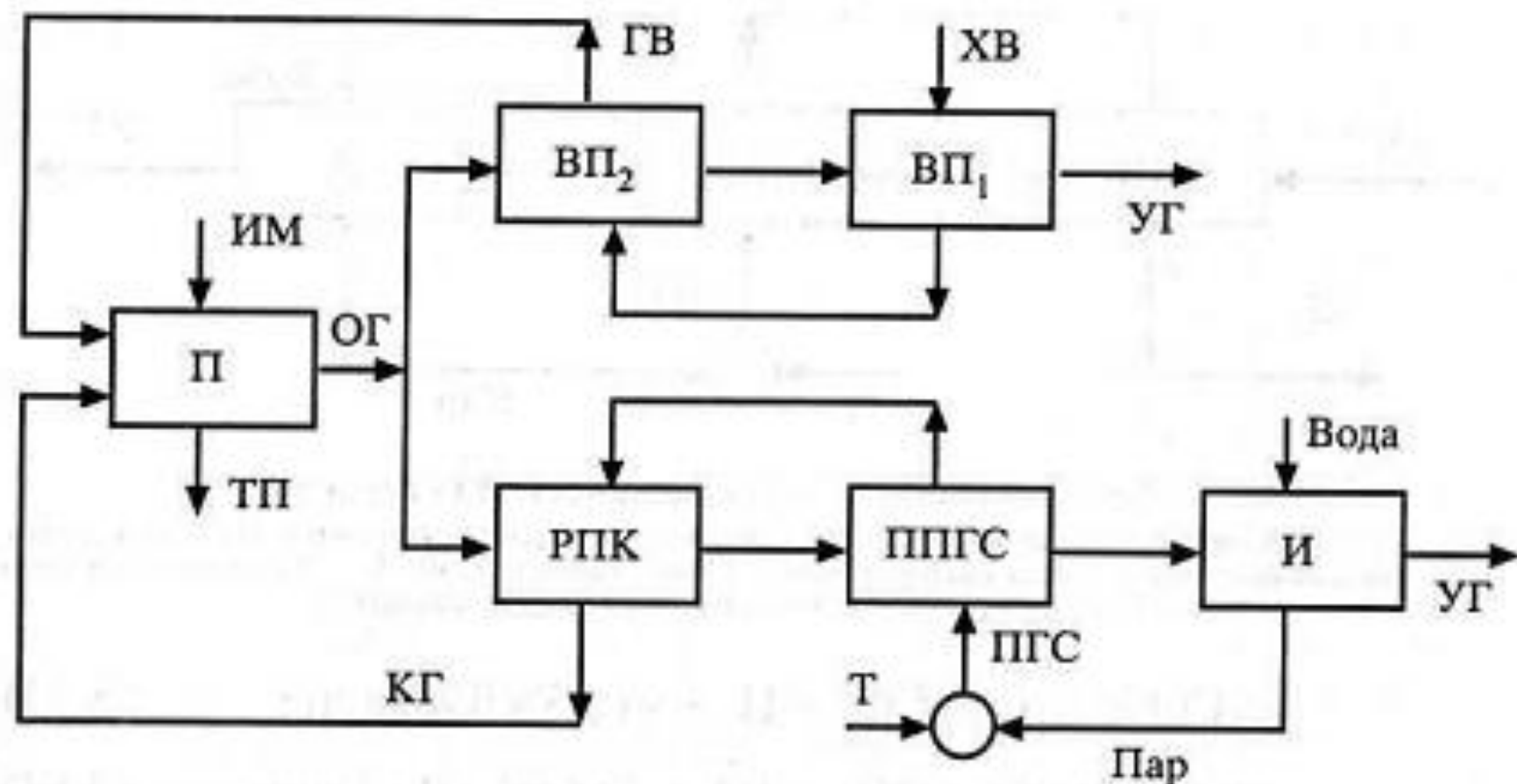


Рис. 3.30. Схема с регенерацией тепловых отходов посредством термохимической регенерации и рекуперативного подогрева окислителя:

П — печь; ВП<sub>1</sub>, ВП<sub>2</sub> — воздухоподогреватели первой и второй ступени; ХВ — холодный воздух; ГВ — горячий воздух; ИМ — исходный материал; ТП — технологический продукт; остальное — как на рис 3.29

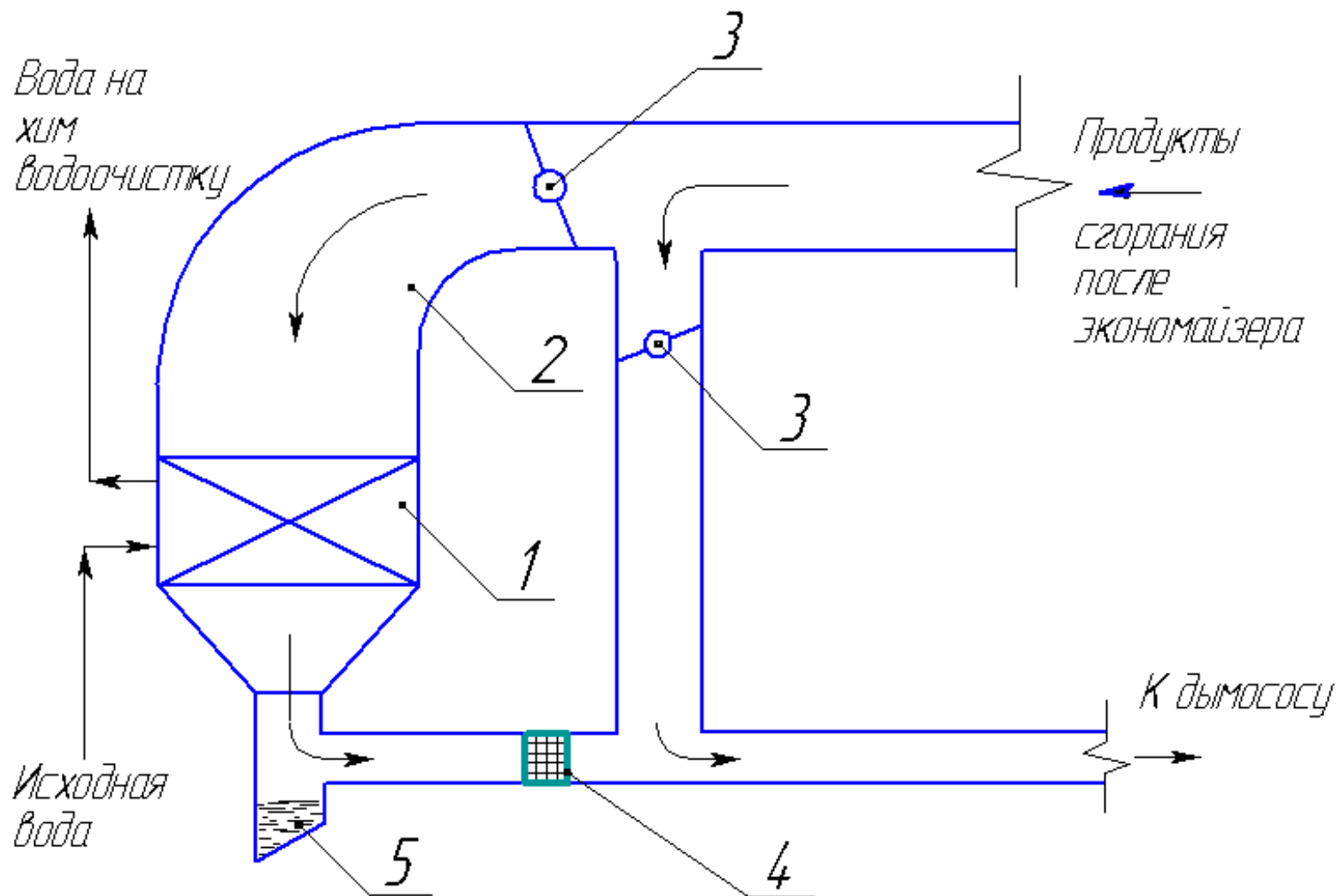
# Глубокое охлаждение продуктов сгорания

— охлаждение дымовых газов ниже температуры конденсации паров ( $55-60^{\circ}\text{C}$ ), имеющих в продуктах сгорания

Недостатки глубокого охлаждения дымовых газов:

1. Интенсивная углекислотная коррозия теплообменного аппарата ( $\text{pH} = 4-5$ ).
2. Интенсивное разрушение газоходов и дымовых труб от насыщения влагой и коррозии.
3. Увеличение мощности дымососов.

# Схема котла с конденсационным теплоутилизатором для нагрева подпиточной ВОДЫ

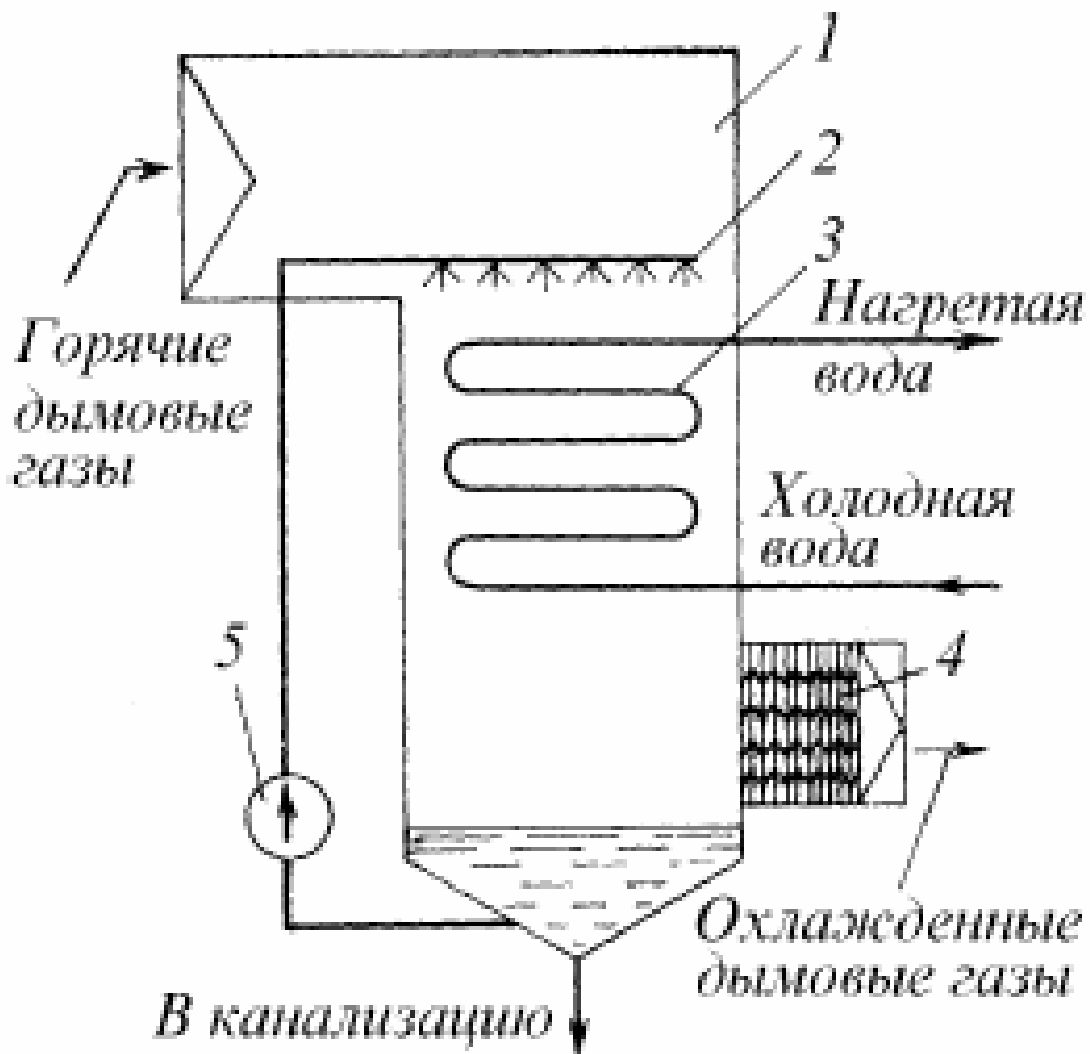


- 1 – конденсационный теплообменник;
- 2 – байпасный газоход; 3 – шибер;
- 4 – каплеулавитель; 5 – конденсатный бак

Правильная организация глубокого охлаждения дымовых газов имеет следующие преимущества:

1. Повышение коэффициента использования теплоты топлива на 15-20%, а КПД котла на 6-10%.
2. Дополнительная защита газоходов и дымовых труб от насыщения влагой и коррозии.
3. Использование конденсата дымовых газов для подпитки котлов, и тем самым снижении производительности действующей водоподготовки .
4. Сокращение потребление энергии дымососом.

# Утилизация низкотемпературных дымовых газов в теплообменниках смешивающего типа



- 1 – корпус;
- 2 – распылитель;
- 3 – теплообменная поверхность;
- 4 – сепарационное устройство (каплеуловитель);
- 5 – циркуляционный насос



С помощью данного устройства можно получать горячую воду 50-70<sup>0</sup>С.

Достоинством аппарата являются

- небольшие габариты и масса, достигаемые за счет интенсификации теплообмена при непосредственным соприкосновением с дымовыми газами,
- увеличивается теплоотдача от газов к воде за счет теплообмена стекающей воды и конденсация водяных паров, содержащихся в газе.
- в данном аппарате происходит очистка дымовых газов.

## Недостатком аппарата является

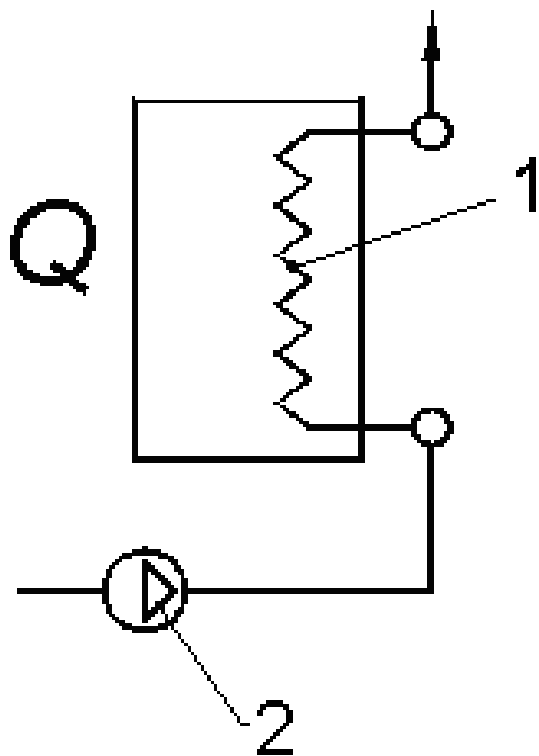
- ненадежность работы распылителя при длительной эксплуатации вследствие засорения форсунок,
- температура воды ограничена значением  $t_M$  (примерно  $80^{\circ}\text{C}$ ) после чего происходит только ее испарение.

# **Охлаждение конструктивных элементов высокотемпературных установок**

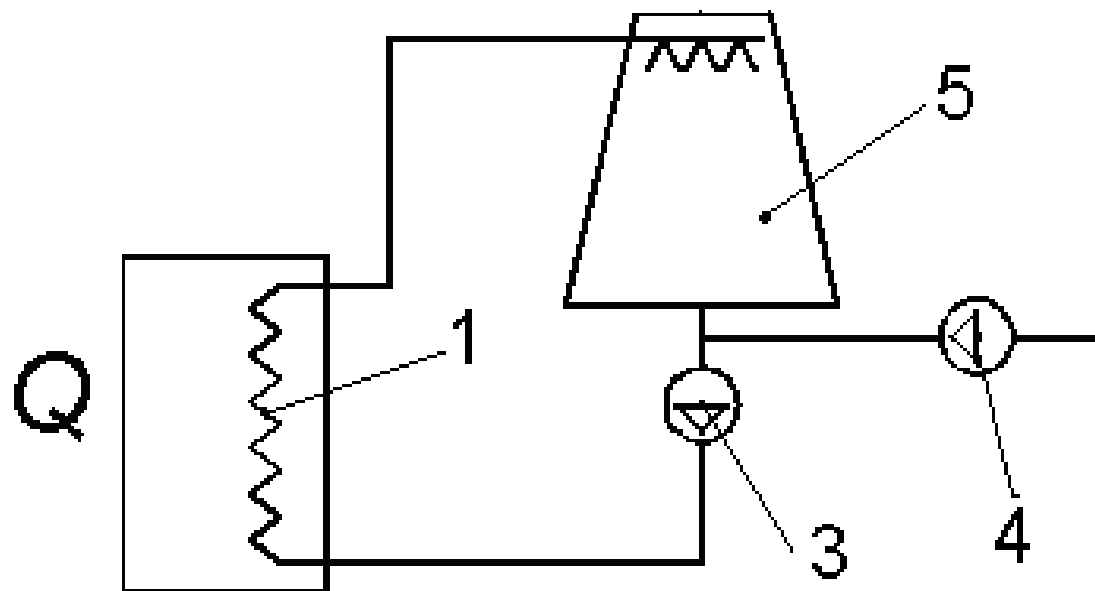
В высокотемпературных установках многие конструктивные элементы находятся в зонах высоких температур, и надежная их работа обеспечивается системами принудительного охлаждения.

Различают **водяное** и **испарительное** охлаждение.

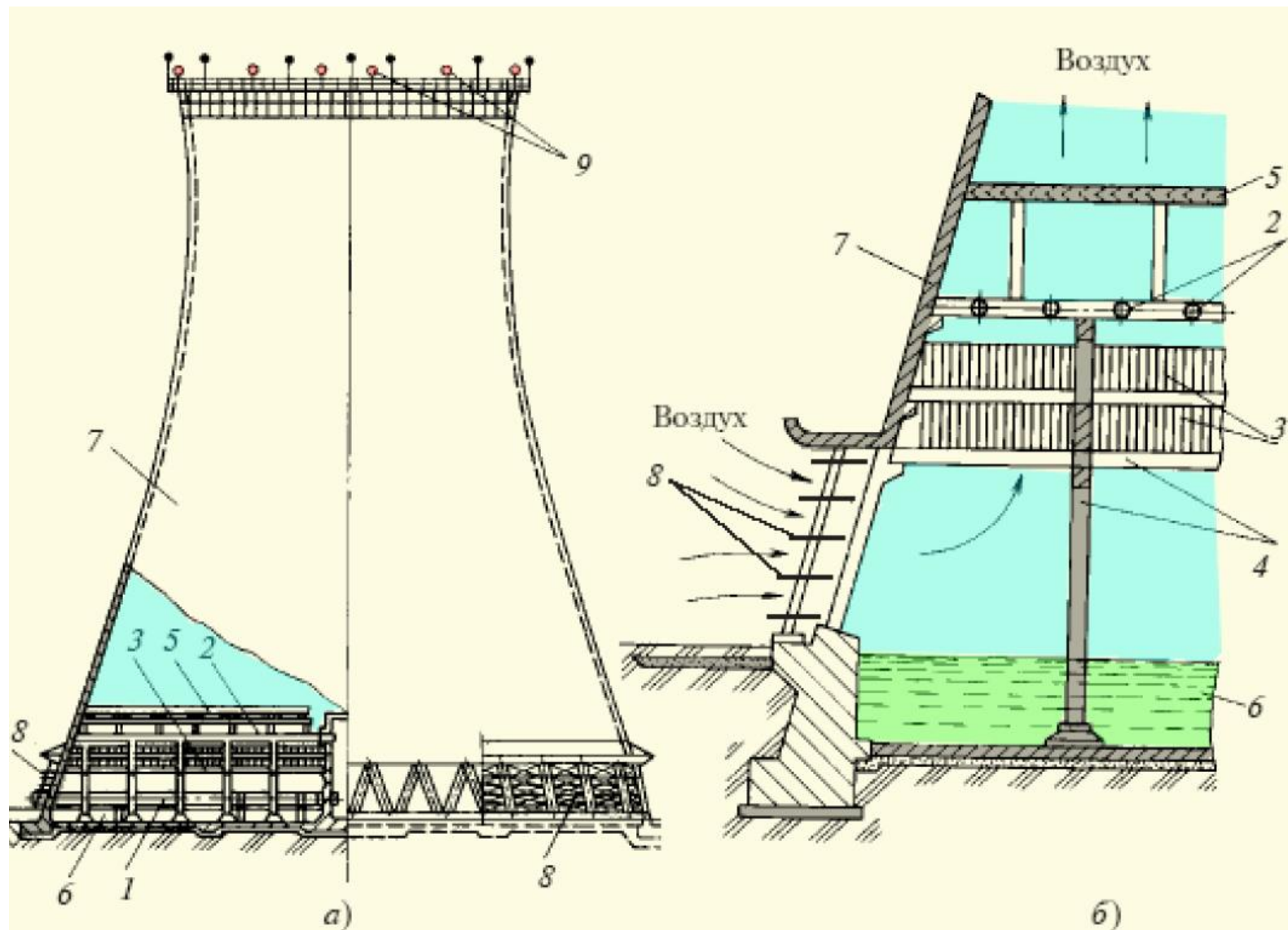
# Водяное охлаждение



Проточная схема.



Оборотная схема



**Рис. 2.3. Устройство градирни с естественной тягой**



Рис. 2.4. Внешний вид башенной градирни

Следует отметить следующие недостатки водяного охлаждения:

- Температура воды на выходе не должна превышать  $\sim 40^{\circ}\text{C}$  из-за опасности образования накипи.
- Низкая температура охлаждающей воды затрудняет возможность использования теплоты.
- Незначительный нагрев воды (на  $10\text{-}15^{\circ}\text{C}$ ) требует очень большого расхода воды (до  $500\text{ т/ч}$  на  $1$  агрегат).

По конструктивным признакам можно выделить два типа охлаждаемых элементов: коробчатые и трубчатые.

При охлаждении коробчатых элементов

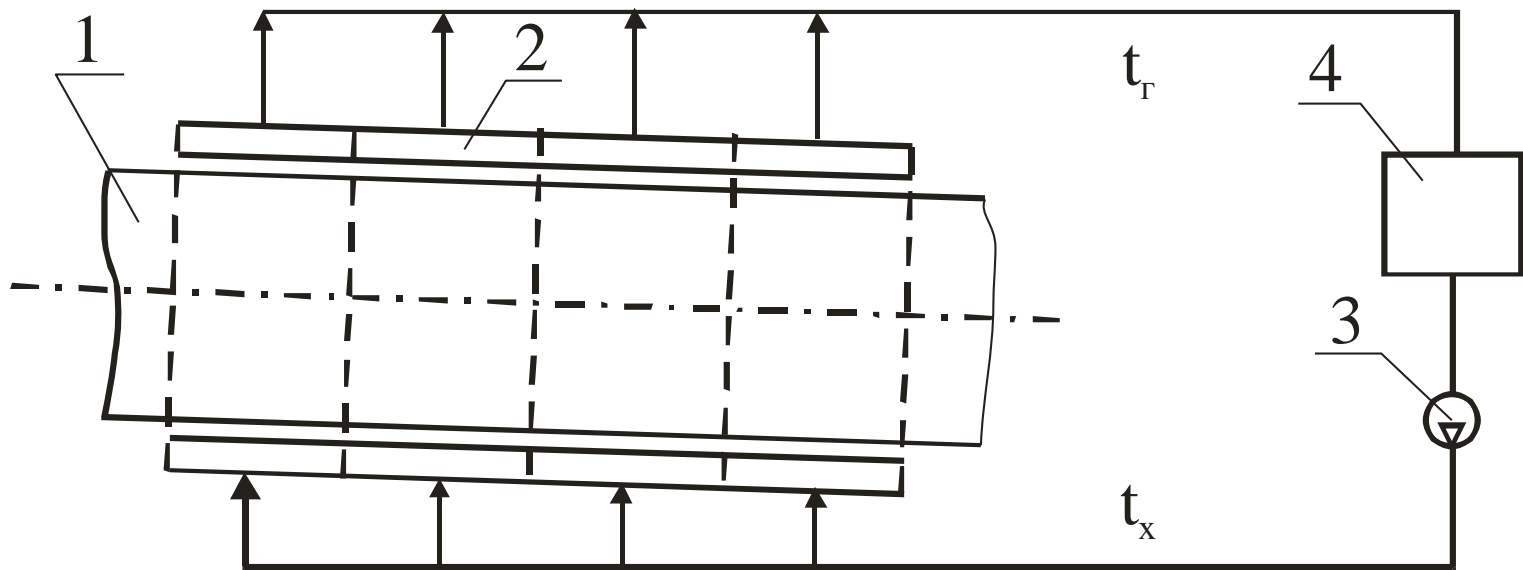
$$\alpha_2 = 232 \sqrt[3]{\Delta \dot{Q}}$$

При охлаждении трубчатых элементов

$$\alpha_2 = 0,027 \frac{\lambda}{d} \text{Pr}^{0,4} \text{Re}^{0,8} = 0,027 \frac{\lambda}{d^{0,2}} \frac{\nu^{0,8}}{(\alpha \nu)^{0,4}}$$



# Использование теплоты излучаемой печами

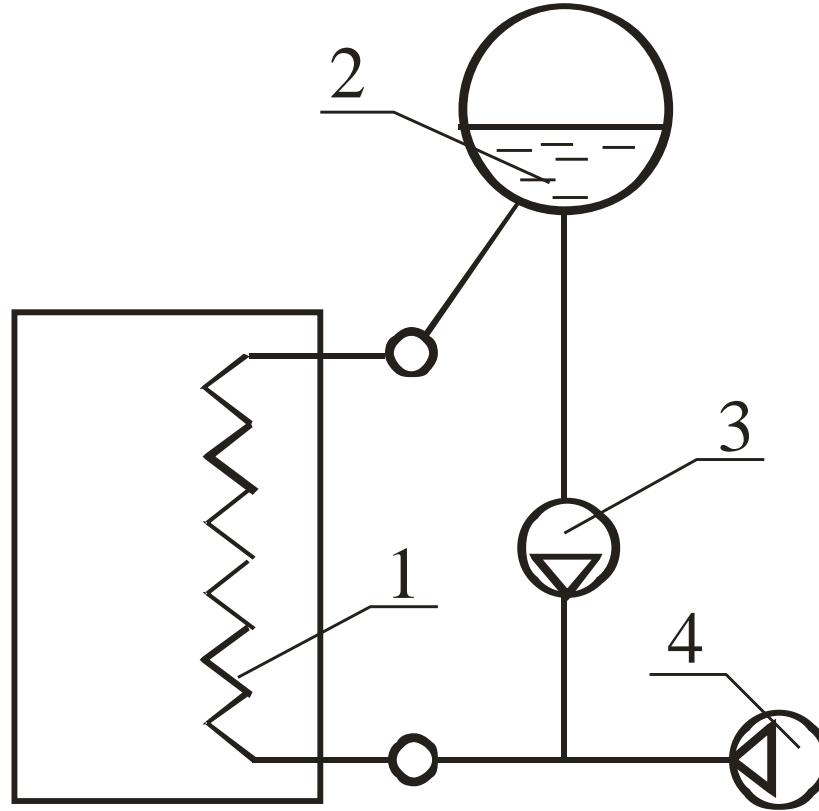


1 – корпус вращающейся печи, 2 – кольцеобразные экранирующие теплообменники, 3 – насос,  
4 – потребители теплоты

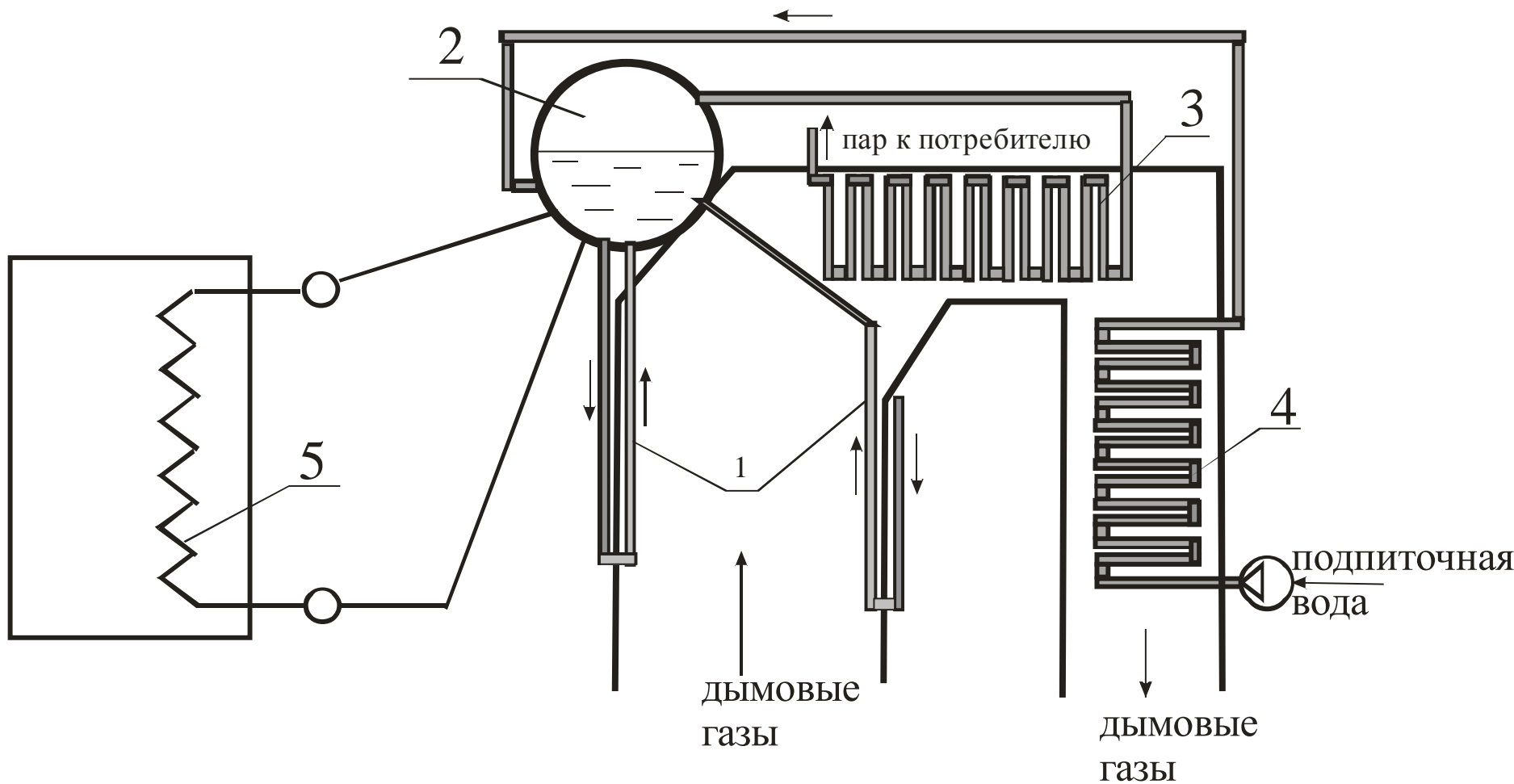
# Испарительное охлаждение

- с естественной циркуляцией,
- с принудительной многократной циркуляцией,
- комбинированная с котлом утилизатором

# Простая схема охлаждения



# Комбинированная схема охлаждения



Испарительное охлаждение имеет следующие преимущества:

- уменьшение расхода воды

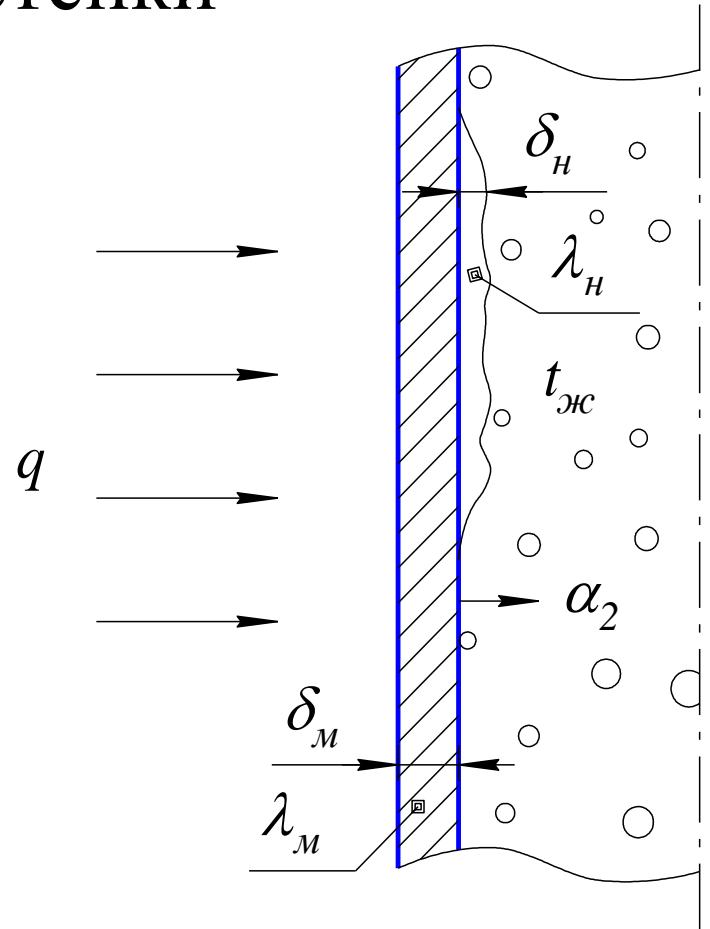
$$D = \frac{Q}{i'' - i'}$$

- использование химводоподготовки и уменьшение накипеобразования обеспечивает более низкое значение температуры охлаждаемых стенок,
- получение высокопотенциальной теплоты.

# Температура охлаждаемой стенки

$$t_{\text{ст}} = t_{\text{ж}} + q_{\text{п}} \left( \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{м}}}{\lambda_{\text{м}}} + \frac{\delta_{\text{н}}}{\lambda_{\text{н}}} \right)$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящей воде приблизительно равен  $\alpha_2 = 10 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .



При отсутствии накипи превышение температуры стенки над температурой теплоносителя составит  $t_{\text{ст}} - t_{\text{ж}} = 75^\circ\text{C}$ .

При появлении накипи толщиной в 1 мм и при теплопроводности накипи 1 Вт/(м·К) превышение температуры  $t_{\text{ст}} - t_{\text{ж}} = 500^{\circ}\text{C}$ .