

# **ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ (ВЭР ПП)**

Лекции – 14 ч., практика – 4 ч.

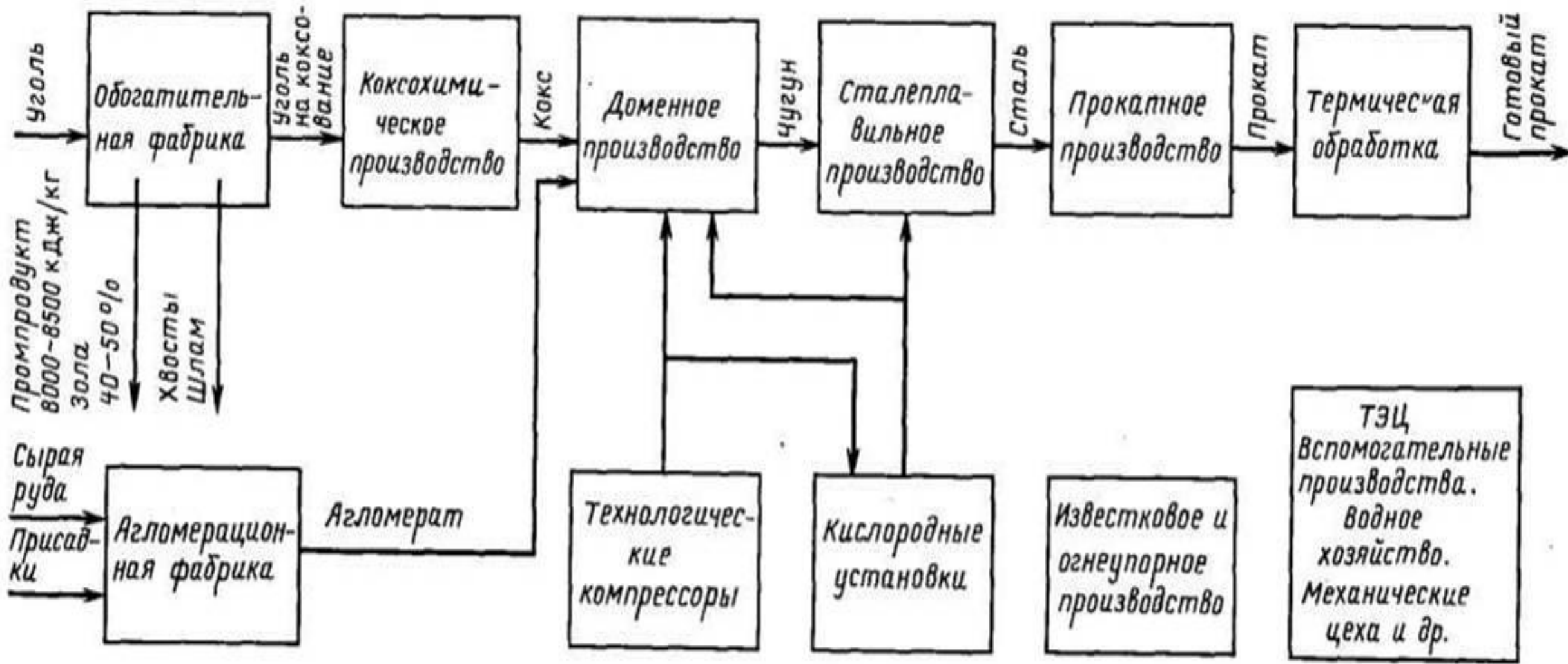
Разработал: д.т.н., проф. Лукин Сергей Владимирович



# Литература:

- Сазанов Б.В. Промышленные теплоэнергетические установки и системы: учеб. пособие для вузов / Б.В. Сазанов, В.И. Ситас. — М.: Издательский дом МЭИ, 2014. — 275 с.: ил.
- Сазонов Б.В., Ситас В.И. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 304 с.
- Энергосбережение в энергетике и теплотехнологиях: конспект лекций / В.А. Мунц. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 136 с.

# Состав металлургического комбината с полным циклом





## Некоторые обозначения:

- ЭР – энергоресурсы
- ВЭР – вторичные (внутренние) энергоресурсы
- ПП – промышленное предприятие
- ТА – технологический агрегат
- ЭУ – энергетическая установка
- УУ – утилизационная установка
- КУ – котел-утилизатор
- КОГ (ОКГ) – котел-охладитель конверторных газов
- СИО – система испарительного охлаждения
- ГУБТ – газовая утилизационная компрессорная турбина
- УСТК – установка сухого тушения кокса

## **Теплоэнергетические системы**

современных промышленных предприятий (ТЭС ПП) энергоемких отраслей промышленности - сложные комплексы тесно взаимосвязанных по потокам различных энергоресурсов как заводских энергоустановок, так и технологических агрегатов, которые потребляют одни виды (обычно несколько) и одновременно генерируют другие виды ЭР, которые не могут быть полностью потреблены в данном производстве, но могут быть использованы для обеспечения работы других технологических и энергетических агрегатов.

**К энергоресурсам**, охватываемым ТЭС ПП, относятся все их виды, имеющиеся на предприятиях, в том числе:

**водяной пар** различных параметров от разных источников и горячая вода;

**горючие газы** — доменный, коксовый, конвертерный, нефтеперерабатывающих агрегатов, ферросплавных электропечей и др.;

**физическая теплота** отходящих газов различных технологических агрегатов, а также остывающей продукции;

теплота охлаждения конструктивных элементов технологических агрегатов;

теплота расплавленных шлаков;

**горючие** нетранспортабельные отходы производства;

**избыточное давление** различных газов и жидкостей;

**сжатый воздух** для технологических процессов и производственных нужд;

**кислород** технический (содержание  $O_2$  (содержание  $O_2$  99,5%) и технологический ( $O_2$  95%), газообразный и жидкий.



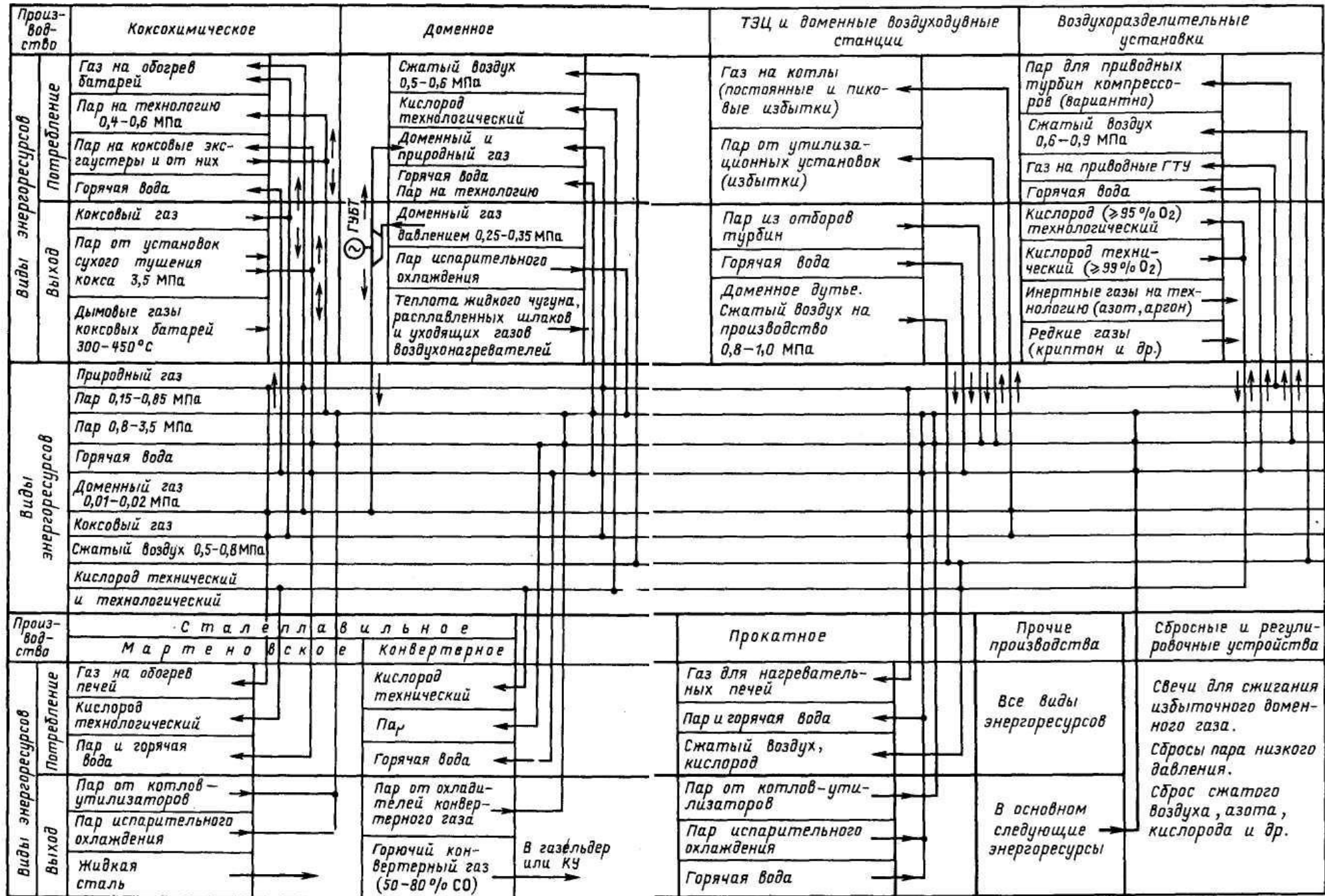
## Энергетические агрегаты и установки:

- Теплоэлектроцентралы (ТЭЦ)
- Паровоздуходувные станции (ПВС)
- Электровоздуходувные станции (ЭВС)
- Воздухоразделительные установки (ВРУ)
- Котлы-утилизаторы (КУ)
- Утилизационные установки (УУ)
- котлы, турбины, компрессоры, насосы, вентиляторы, дымососы и др.

# Технологические агрегаты и установки

- Агломерационные машины
- Коксовые батареи (КБ)
- Доменные печи (ДП)
- Нагревательные печи
- Сталеплавильные конвертеры
- Машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ)
- Прокатные станы и др.

# Схема потоков основных энергоресурсов на МК



Годовое потребление условного топлива, тыс. т

Потребители	Годовое потребление условного топлива, тыс. т				
	Доменный газ (внутренний ЭР)	Коксовый газ (внутренний ЭР)	Природный газ	Твердое топливо	Жидкое топливо
Доменные печи (вдувание)	—	—	1770	—	—
Воздухонагреватели доменного цеха	694	10	4	—	—
Коксохимическое производство	515	156	—	—	—
Конвертерные цехи	—	98	91	—	—
Электросталеплавильный цех	8	4	2	—	—
Прокатные цехи	172	207	780	—	—
Агломерационная фабрика	77	180	—	291	—
Известковое и огнеупорное производство	—	80	304	—	—
Азотно-туковое производство	—	483	—	—	—
Энергетические установки (ТЭЦ, пиковые котельные и др.)	950	265	186	71	—
Прочие потребители	60	50	20	—	305
Потери (проектные)	80	8	13	—	—
<b>Всего</b>	<b>2556</b>	<b>1541</b>	<b>3170</b>	<b>362</b>	<b>305</b>

1 тонна условного топлива (1 т.у.т)

= 1000 кг условного топлива

обладает теплотой сгорания 29,3 ГДж

= 29310 МДж ( $Q_y = 29,31$  МДж/кг)

$$V_y = V \cdot Q_H / 29,3$$

1000 м<sup>3</sup> природного газа  $\approx$  1,2 т.у.т

**Технологические агрегаты и производства** потребляют *топливо, теплоту, электроэнергию, кислород и другие энергоресурсы (ЭР).*

В ходе технологических процессов и работы агрегатов образуются другие виды ЭР в виде:

- *горючих продуктов (газообразных, жидких, твердых);*
- *различных носителей физической теплоты;*
- *газов и жидкостей с избыточным давлением*

# Топливо-энергетический баланс промышленного предприятия

составляется из двух групп энергоресурсов:

- 1) **подводимых со стороны в виде так**  
называемого *привозного топлива,*  
электроэнергии, **теплоты от внешних**  
источников
- 2) **образующихся на самих предприятиях в**  
результате технологических и производственных  
процессов.





## Обозначения на схеме

- 1 – энергетические установки
- 2 – энергетическое топливо
- 3 – коксохимическое производство
- 4 – доменное производство
- 5 – сталеплавильное производство
- 6 – прокатное производство
- 7 – вспомогательные производства

Энергоресурсы, вырабатываемые заводскими энергоустановками (ТЭЦ, котельными и др.), *на привозном топливе* относятся к первой группе.

Энергоресурсы второй группы (образующиеся на самих предприятиях) разделяют обычно на три вида:

- *Горючие*
- *Тепловые* (в виде физической теплоты)
- *Избыточное давление*

Часть энергоресурсов, образующихся в технологических агрегатах, принято называть *вторичными энергоресурсами (ВЭР)* в отличие от первичных, поступающих со стороны.

Часто трудно однозначно установить, какой энергоресурс является вторичным для энергосистемы завода в целом.

Поэтому иногда применяют термин *внутренние энергоресурсы (ВЭР)*.

# Классификация вЭР

Горючие

Коксовый газ

Доменный газ

Конвертерный  
газ

Тепловые

Тепло отходящих  
газов

Тепло  
охлаждающей  
воды

Тепло продукции  
или отходов

Избыточного  
давления

Давление  
доменного газа

## К горючим энергоресурсам относятся:

горючие газы от различных технологических агрегатов (ТА), доменных, коксовых и ферросплавных печей, сталеплавильных конвертеров, продуваемых кислородом, различных ТА нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов, абгаз при производстве синтетического каучука, смолы коксохимических и других производств и т. п.

К горючим энергоресурсам относятся также **отходы горючего сырья**, которые по тем или иным причинам не используются для технологической переработки (щепа, опилки, коксовая мелочь и т. п.).

## К тепловым энергоресурсам относятся:

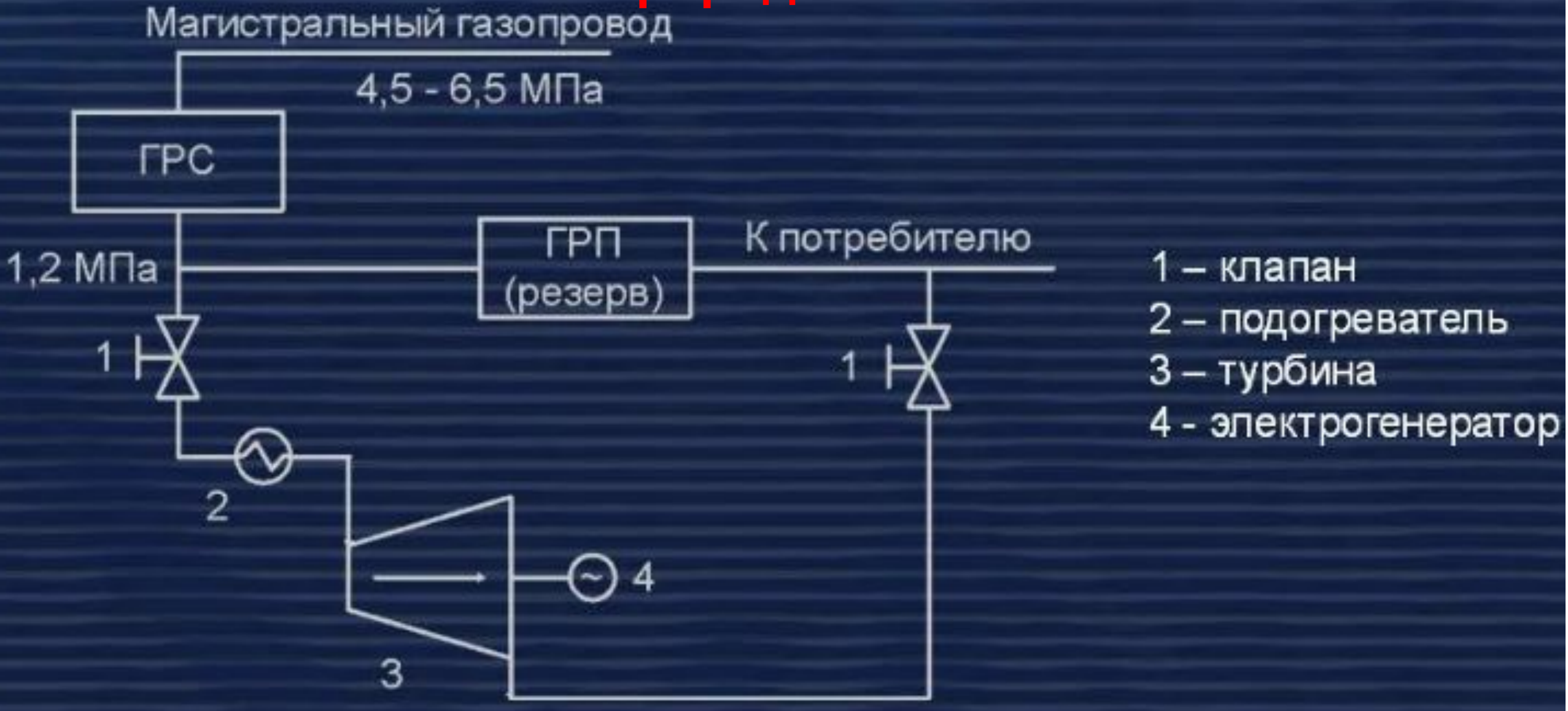
- физическую теплоту различных газов, выходящих из технологических агрегатов;
- раскаленного кокса;
- огненно-жидких шлаков;
- горячего агломерата;
- основных продуктов, выдаваемых технологическими агрегатами при высоких температурах;
- теплоносителей, охлаждающих конструктивные элементы ТА;
- отработавшего пара и т. п.

**К третьему виду энергоресурсов**  
относятся:

*избыточное давление* (относительно атмосферного или необходимого потребителю) различных газов или жидкостей, которые образуются в некоторых производствах.

**Например:** *избыточное давление* доменного газа, *давление* природного газа после ГРС, *давление сбрасываемых газов* установок, производящих слабую азотную кислоту, и др.

# Использование избыточного давления природного газа



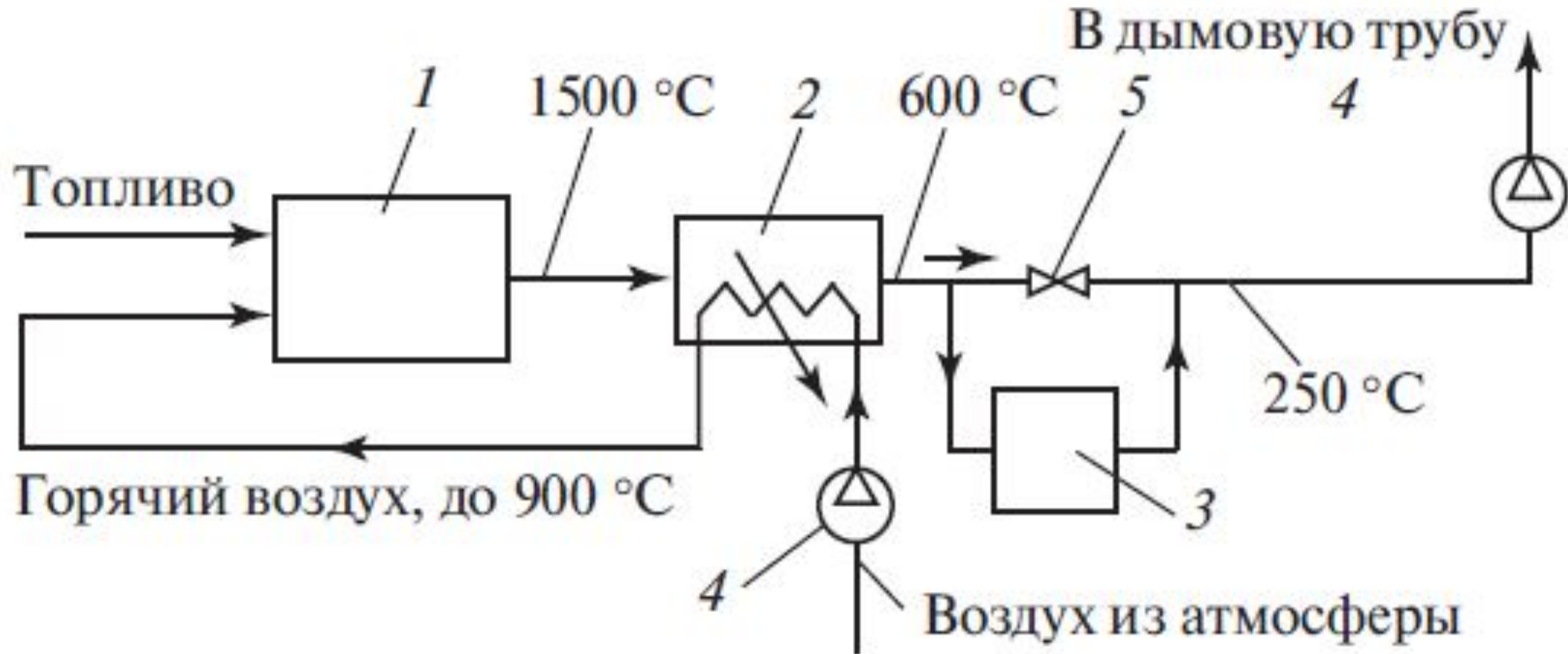


В понятие **«вторичные энергоресурсы»** **(ВЭР)** включаются все без исключения виды энергоресурсов, которые образуются на предприятиях и не используются по тем или иным причинам в генерирующих их технологических агрегатах, включая отходы горючего сырья, которые не используются в данном агрегате или в качестве сырья для других агрегатов как на данном предприятии, так и на других.

При этом, если за технологическим агрегатом стоит **утилизационная установка** (УУ), то ВЭР считается выдаваемый ею энергоресурс.

Например, если за нагревательной печью стоит **котел-утилизатор**, то ВЭР считается вырабатываемый им пар.

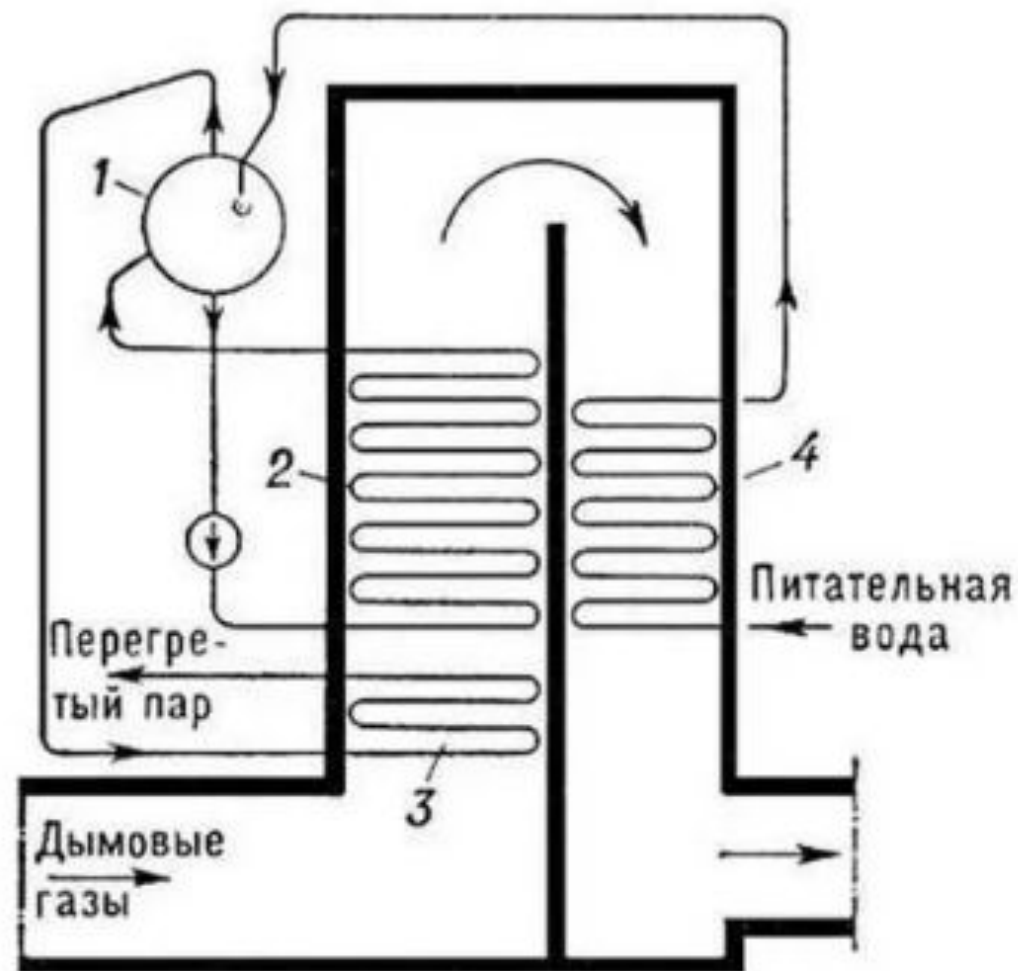
# Схема установки котла-утилизатора



1 — технологический агрегат; 2 — воздухонагреватель; 3 — котел-утилизатор; 4 — дымосос и вентилятор; 5 — запорный орган

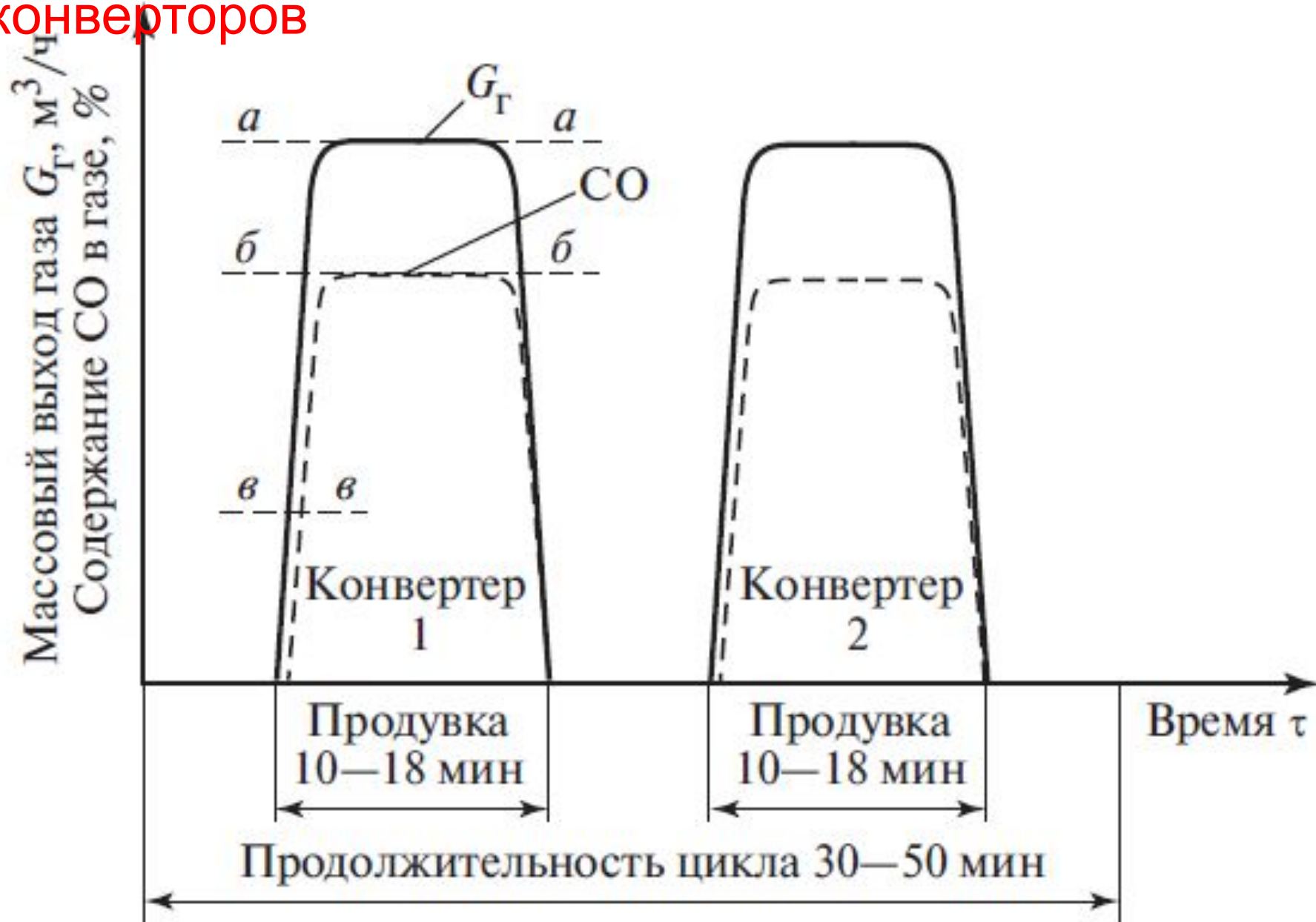
# Котлы-утилизаторы

- ▶ **Котёл-утилизатор** - это паровой котёл, не имеющий собственной топки и использующий тепло газообразных продуктов реакции или отходящих газов какой-либо промышленной установки для получения пара.
- ▶ Температура газов, поступающих в котёл-утилизатор, 450-1000°C
- ▶ Водогрейные **котлы-утилизаторы** называют экономайзерами.



Одной из характерных особенностей ВЭР как на металлургических, так и других заводах является **неравномерный**, а нередко и **периодический график** их выхода вследствие особенностей технологических процессов и режимов работы технологических агрегатов, которые, в свою очередь, определяются целым рядом независимых факторов.

# Проектный график работы сталеплавильных конвертеров



На металлургических заводах с полным циклом выработка пара за счет тепловых ВЭР при хорошем их использовании почти покрывает летнюю потребность всего завода в производственном паре.

На некоторых металлургических заводах летом наблюдаются значительные избытки пара, получаемого за счет ВЭР, хотя потребность в производственном паре на них составляет 500—1000 т/ч.

Величина и характер общего **энергетического потенциала ВЭР** определяются следующим выражением:

$$\mathcal{E}_{\text{ВЭР}} = \mathcal{E}_x + \mathcal{E}_d + \mathcal{E}_k + \mathcal{E}_t$$

$\mathcal{E}_x$  - **химическая** энергия горючих компонентов ВЭР (суммарная теплота сгорания этих компонентов);

$\mathcal{E}_d$  - **физическая** энергия, определяемая превышением давления компонентов ВЭР над давлением среды;

$\mathcal{E}_k$  - **кинетическая** энергия, определяемая скоростью движения компонентов ВЭР;

$\mathcal{E}_t$  - **физическая** энергия, определяемая превышением температуры компонентов ВЭР над температурой окружающей среды

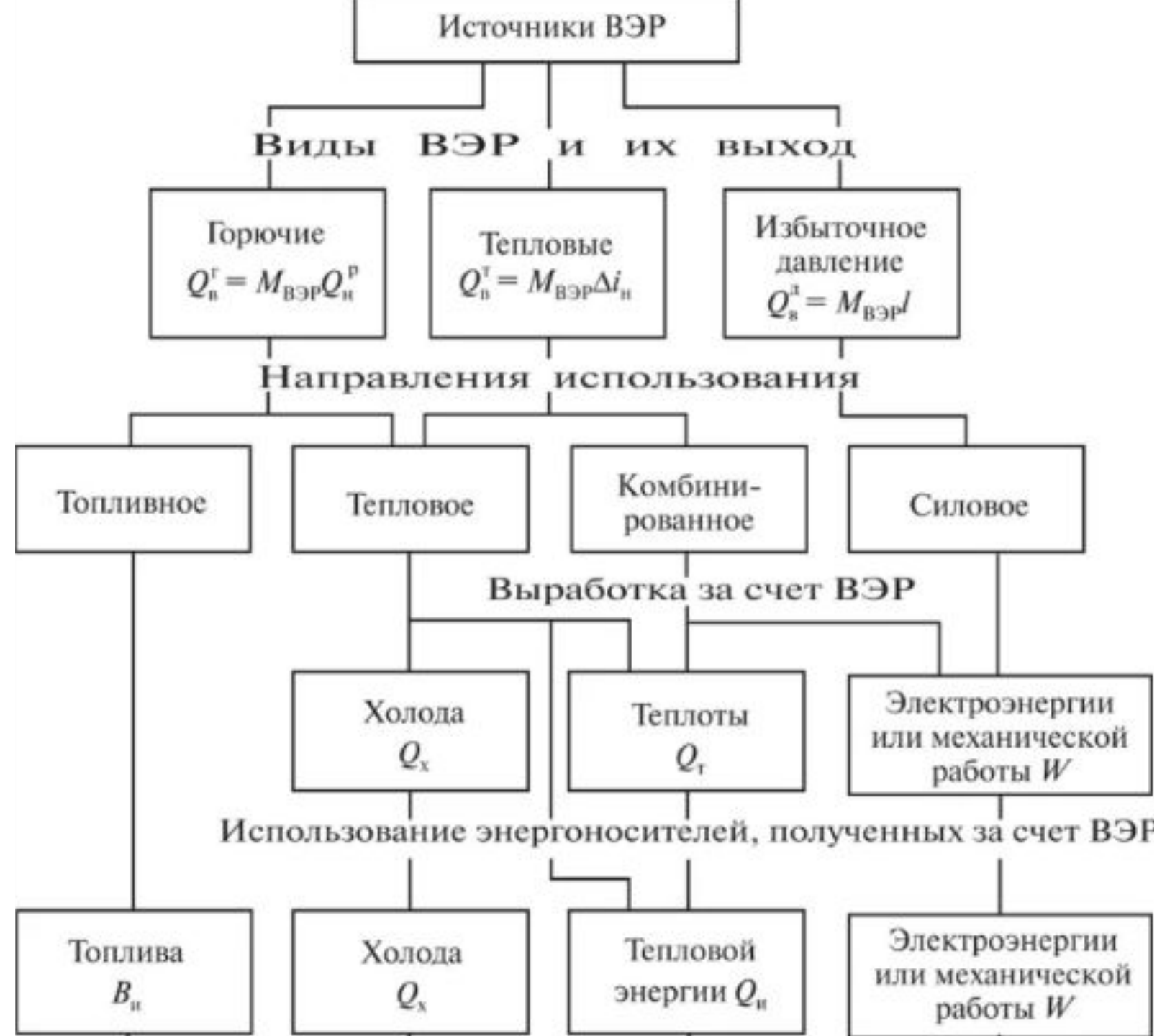


Большинство ВЭР имеют несколько составляющих энергетического потенциала:

**Примеры:**

**доменный газ** содержит горючий оксид углерода CO и другие горючие газы, имеет теплоту сгорания  $3500-5000 \text{ кДж/м}^3$ , давление  $0,13-3,5 \text{ МПа}$  и температуру на выходе из печи  $150-350^\circ \text{ С}$ ;

**газы на выходе из конвертера** имеют температуру  $1500-1600^\circ \text{ С}$  и теплоту сгорания после газоочистки  $6700-8500 \text{ кДж/м}^3$ .

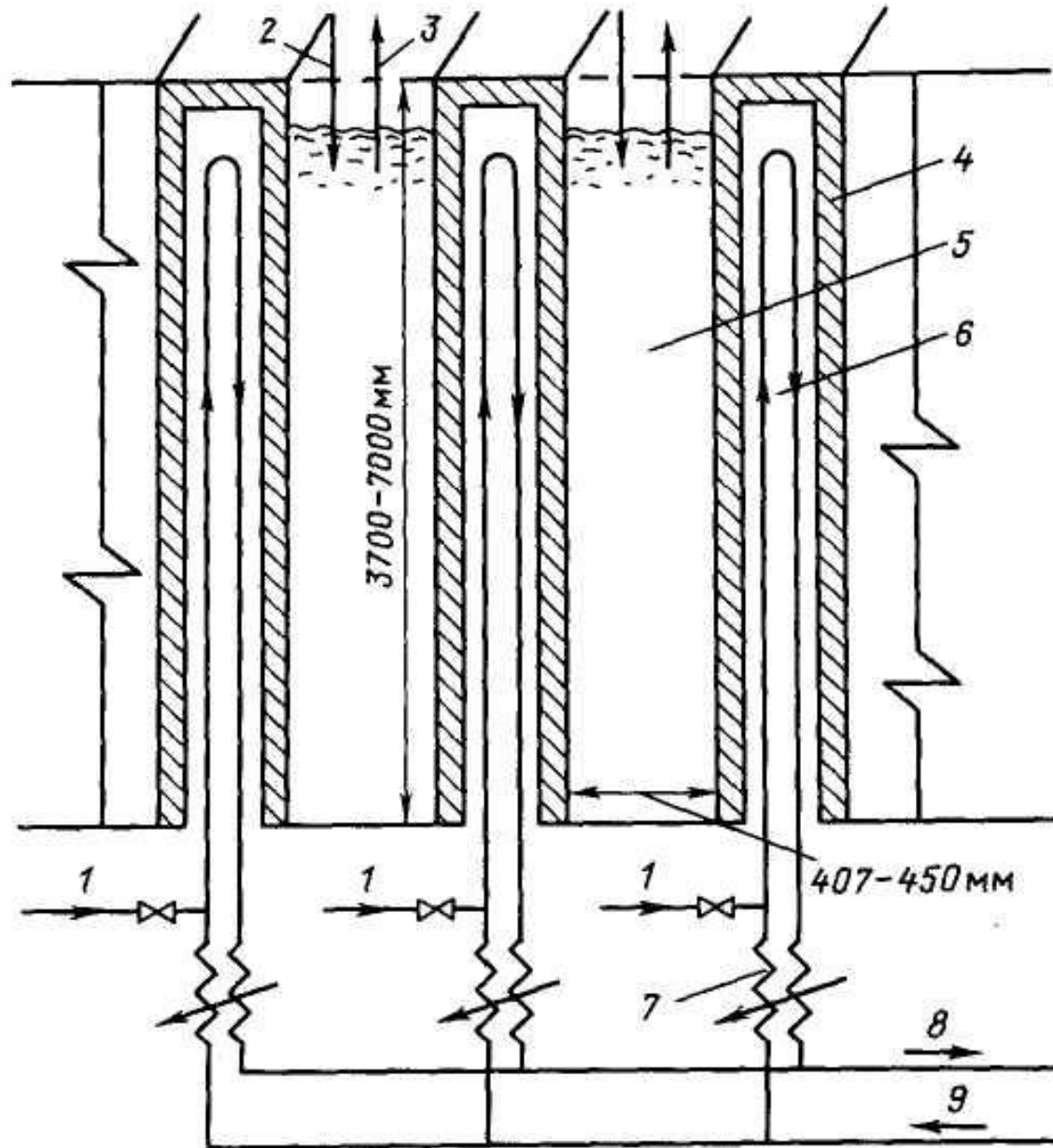


# **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

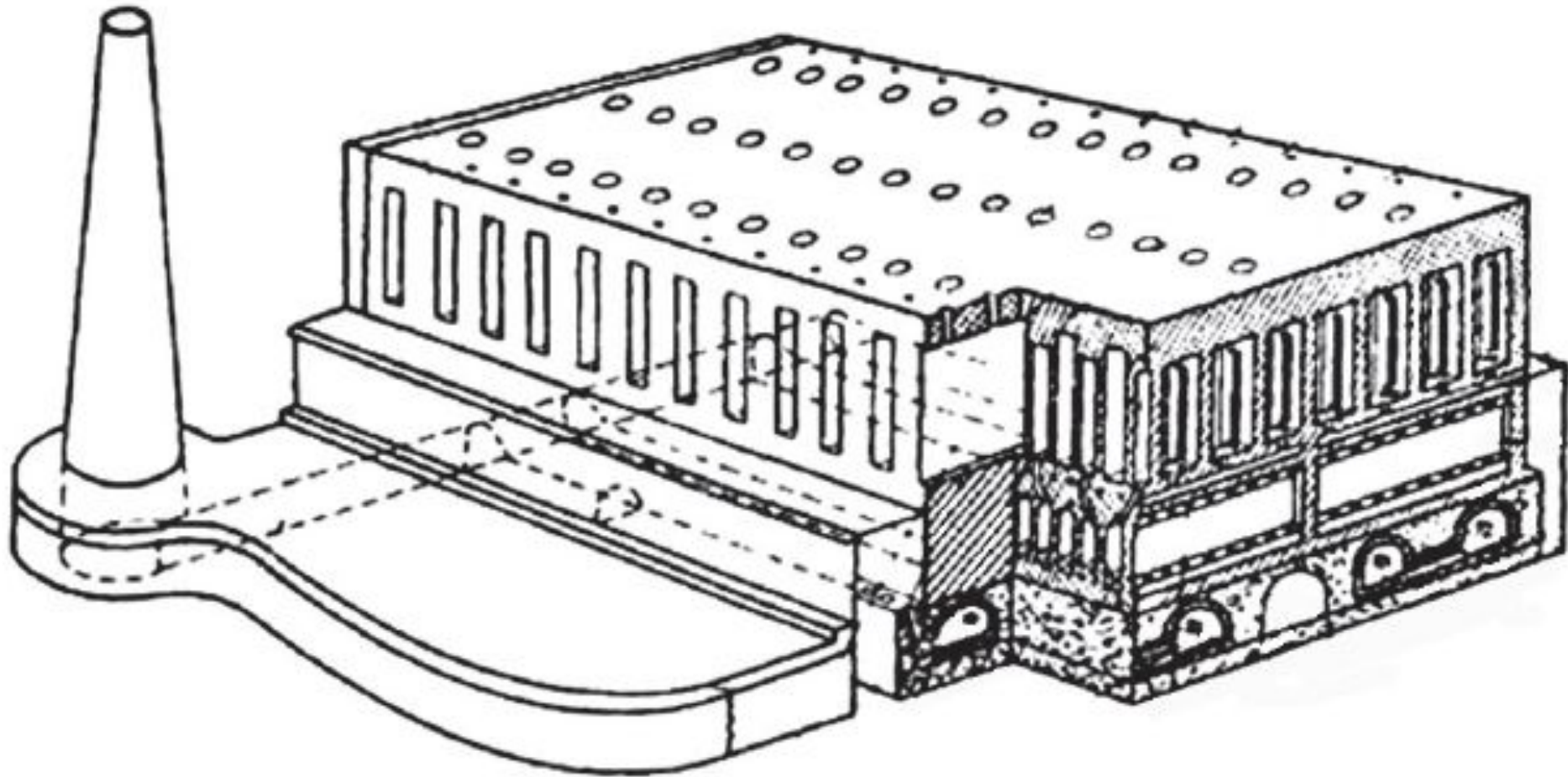


# Схема устройства печи для выжиг кокса



- 1 - топливо;
- 2, 3 - устройства для загрузки угля и отвода коксового газа;
- 4 - простенки из огнеупорного кирпича;
- 5 - уголь в камере коксования;
- 6 - камеры сгорания;
- 7- регенеративные подогреватели компонентов горения;
- 8 - уходящие газы 300-400° С;
- 9 — воздух, топливо.

# Общий вид коксовой батареи



Современные коксовые батареи содержат до 60 печей и более, их производительность до *1 млн. т кокса* в год.

Крупная доменная печь объемом  $5000 \text{ м}^3$  потребляет в год около *2 млн. т* кокса (размер кусков около 25 мм).

Теплота сгорания сухого кокса **32,5 – 33,5 МДж/кг**

Теплота сгорания коксового газа **17,2 - 18 МДж/м<sup>3</sup>**  
(для сравнения у природного газа – 32-36 МДж/м<sup>3</sup>)

*(объем газа приведен к нормальным условиям  
- температуре 0°С и давлению 101,3 кПа).*

Номинальная теплота сгорания коксового газа  
принимается равной **16,8 МДж/м<sup>3</sup>**.



## Химический состав коксового газа по объему, %:

$H_2$	.....	55 - 60
$CH_4$	.....	22 - 27
$CO$	.....	5 - 8
$N_2$	.....	5 - 11
$CO_2$	.....	2 - 4
$C_nH_m$	.....	1,5 - 3,0
$O_2$	.....	0,5 - 0,8

Доля коксового газа по теплоте составляет в среднем **25 - 28%** от теплоты сгорания кокса, или **18 - 22%** от теплоты сгорания угля, пошедшего на коксование.

Удельный расход угля составляет в среднем **1,3 т/т** кокса.

Удельный расход условного топлива на выжиг кокса в современных печах равен **0,085—0,10 т/т**.

Распределяется теплота топлива следующим образом, %:

**Физическая теплота** коксового газа (при температуре на выходе из печи в среднем 700 °С) . . . . .

30—35

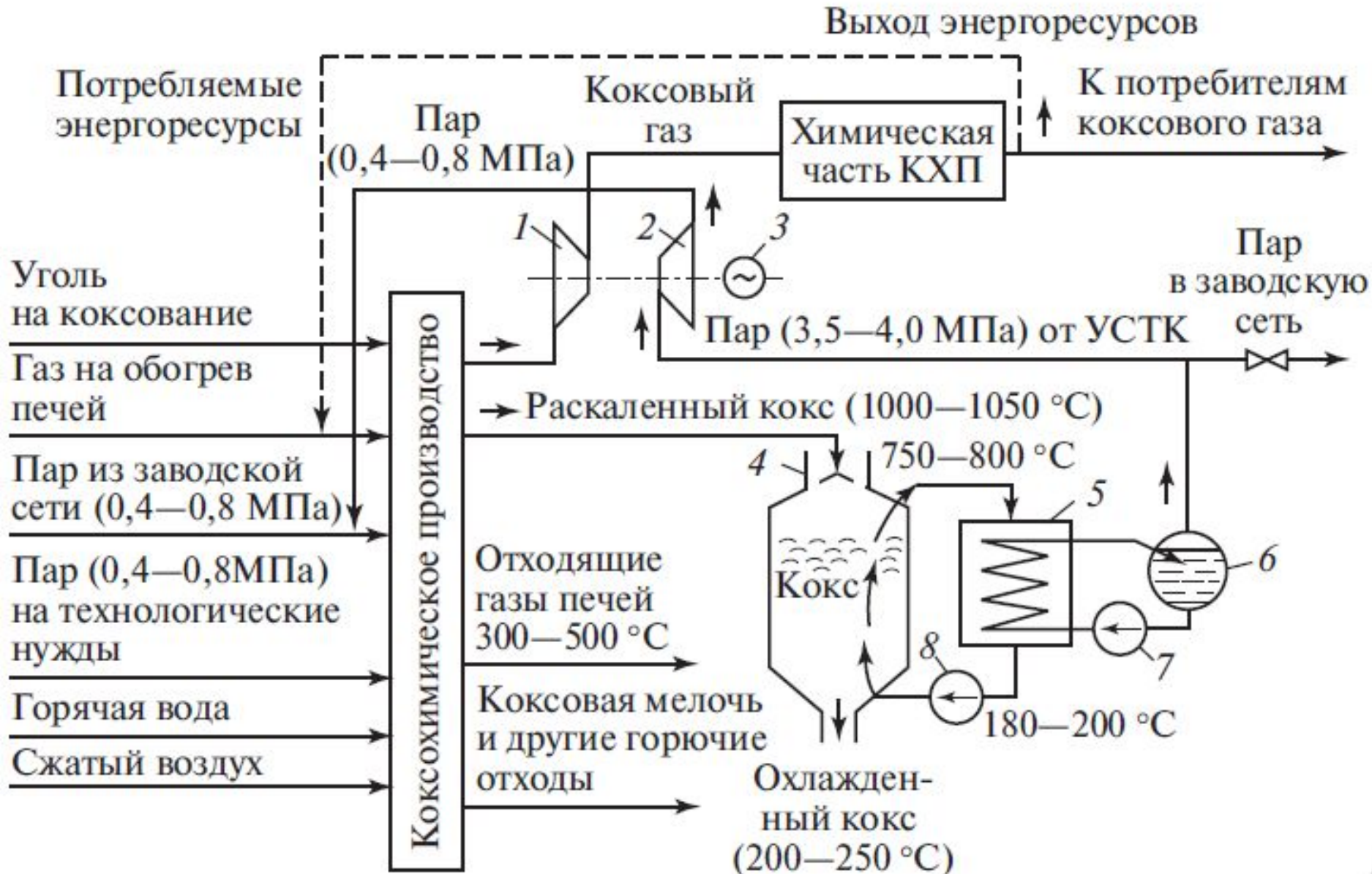
То же горячего кокса (при температуре 1000—1050 °С) . . . .

40—45

То же уходящих газов (при температуре 300—400 °С) . . . . .

10—15

# Упрощенная схема коксохимического



- Выход энергоресурсов
- 1 - коксовый эксгаустер
  - 2 - приводная турбина с противодавлением
  - 3 - приводной электродвигатель
  - 4 - загрузочное устройство УСТК
  - 5 - котел-утилизатор УСТК
  - 6 - барабан-сепаратор
  - 7 - циркуляционный насос КУ
  - 8 - дымосос УСТК

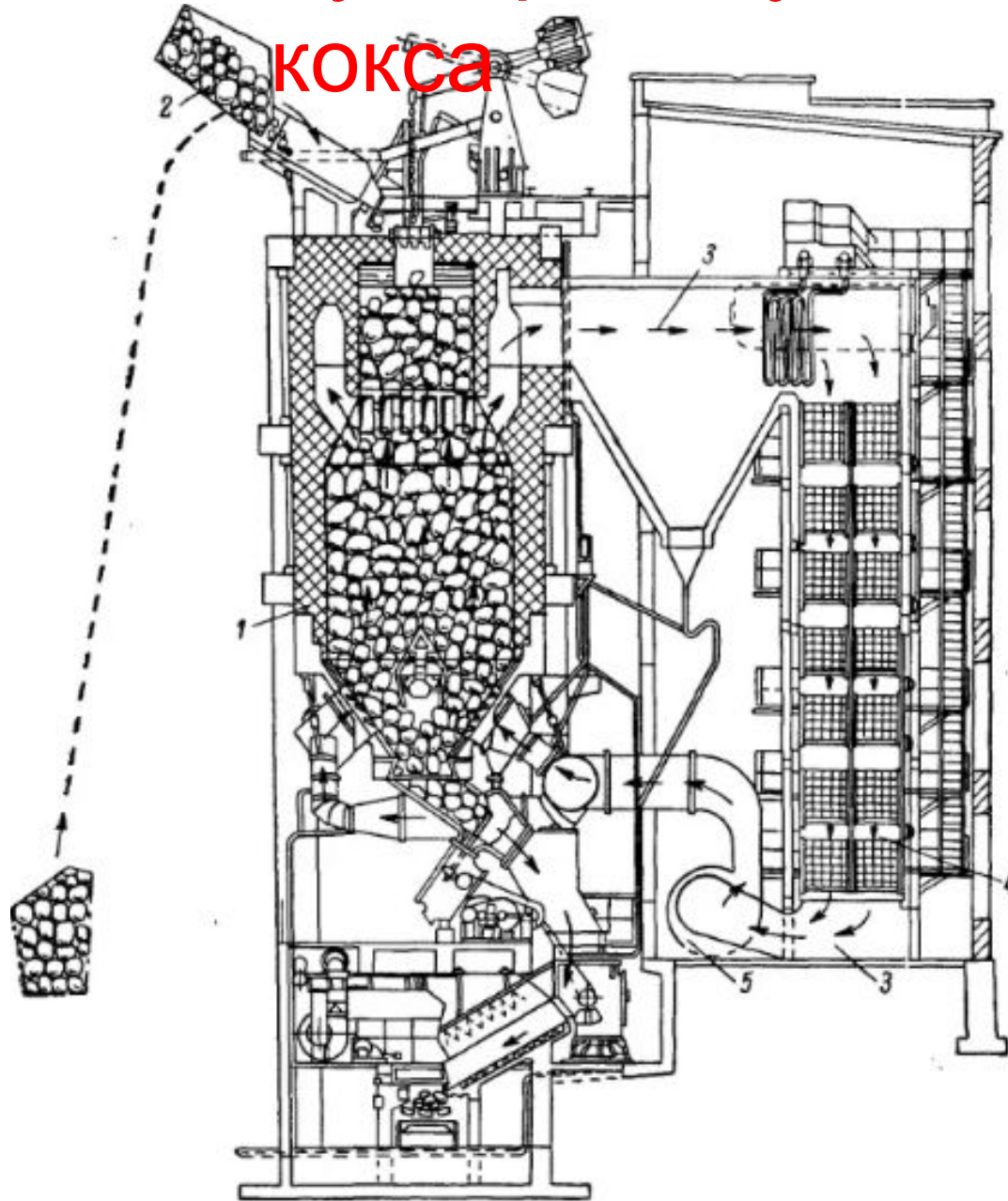
## Химическая часть современного КХП

представляет собой сложный комплекс, в котором из содержащихся в неочищенном коксовом газе продуктов вырабатываются в больших количествах сульфат-аммоний (удобрение), бензол и ряд других ценных продуктов.

Длительность «оборота» печей - *коксование, выгрузка кокса, загрузка угля* — составляет около 15 ч. После окончания коксования спекшаяся масса (*коксовый пирог*) со средней температурой *1000-1050°С* толкателем выталкивается из камеры в вагон специальной конструкции и доставляется в *установки мокрого или сухого тушения кокса.*

# Бункерная установка сухого тушения

кокса



1 – тушильная камера

2 – скиповый подъемник

3 – инертные газы

4 - котел-утилизатор

5 - вентилятор

*Инертные газы, выходящие из бункера с температурой 750-800 °С, направляются в котел-утилизатор, где они охлаждаются до 180-200 °С и затем нагнетателем подаются снова в бункер.*

Температура греющих газов (750-800 °С) позволяет вырабатывать пар давлением до 3,5-4,0 МПа с температурой перегрева 400-450 °С.



Удельный выход пара составляет 0,4-0,45 т в расчете на 1 тонну охлажденного (потушенного) кокса.

Установки сухого тушения кокса состоят из нескольких блоков.

*Производительность блока по коксу равна 50-55 т/ч, по пару - около 25 т/ч.*

В зарубежных УСТК **нового поколения** достигаются параметры пара те же, что и у энергетических котлов: давление **10,0-12,0 МПа** и температура **500-550 °С**.

Это позволяет **увеличить** единичную мощность агрегатов *теплоутилизационной электростанции* (ТУЭС) до 30-40 МВт, а ее суммарную мощность - до 100-120 МВт.

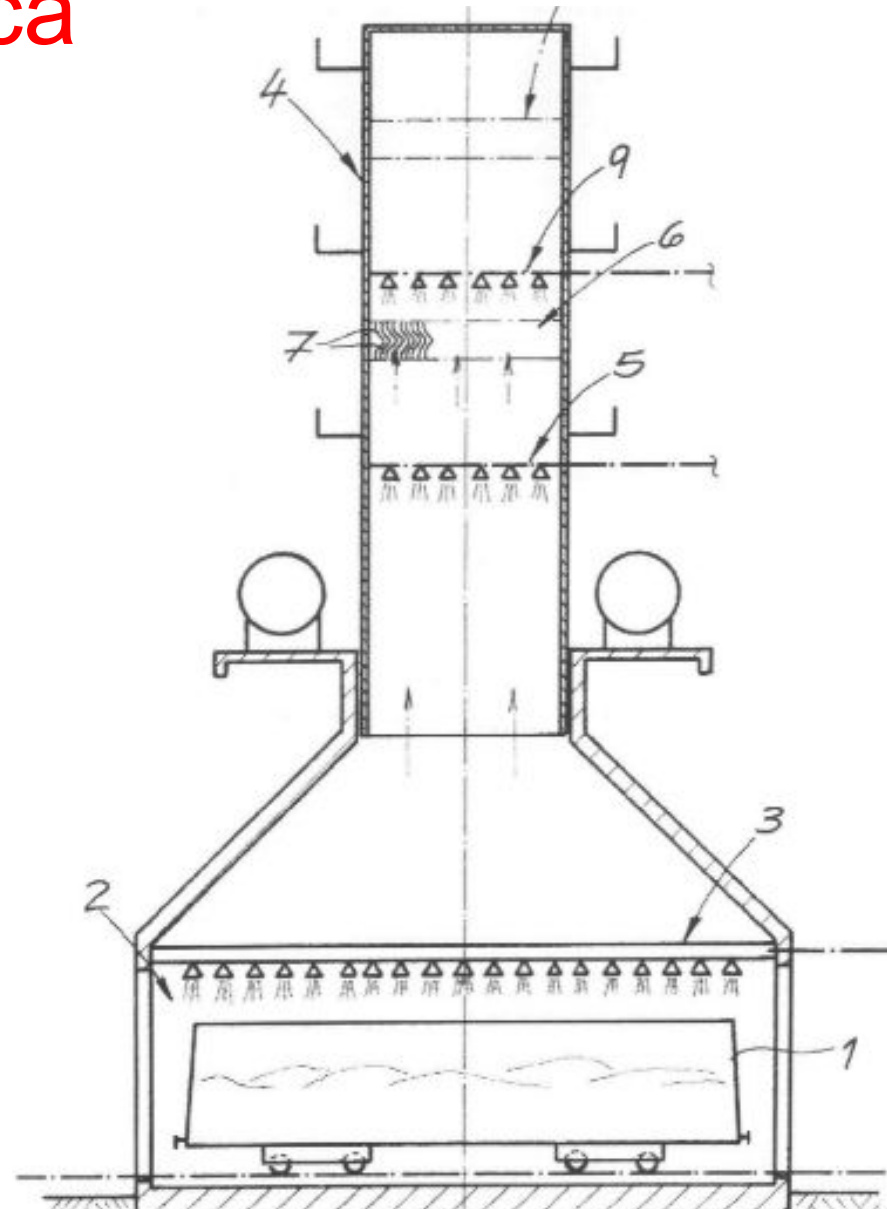
Ранее и еще теперь кокс охлаждался водой в специальных тушильных башнях.

Удельный расход воды на тушение кокса составляет  $4-5 \text{ м}^3/\text{т}$ .

При мокром тушении кокса не только теряются большие количества теплоты, но и образуются большие количества воды, содержащей соединения серы, фенолов и т. д.

При оборотном использовании воды с паром, образующимся в башне, в атмосферу выбрасывается большое количество *токсичных и вредных веществ*, превышающих ПДК.

# Башня мокрого тушения кокса



На обогрев коксовых батарей может быть использовано **только 40 - 45%** получаемого коксового газа (при обогреве батарей только этим газом).

Коксовый газ является **высокосортным топливом** с высокой реакционной способностью

В коксовом газе нуждаются и другие потребители, у которых он может дать большой энергетический и экономический эффект.

Коксовый газ является также **ценным химическим сырьем.**

**Коксовые батареи** могут работать на доменном газе, который из-за низкой теплоты сгорания непригоден в чистом виде для многих потребителей.

Однако на доменном газе коксовые батареи получаются **более сложными** (требуется регенеративный подогрев не только воздуха горения, но и доменного газа) и дорогими.



Зато можно **улучшить показатели** других технологических агрегатов завода, которые смогут работать на *коксовом* или *смеси коксового и доменного газов*.

При этом возможно **снижение потребности** завода в *природном газе* путем частичной замены его коксовым.

Эти **преимущества** могут с лихвой перекрыть удорожание и усложнение коксовых батарей при переводе их на доменный газ.

## Режимы работы агрегатов КХП:

- 1) Процесс коксования является **периодическим** и длится около 15 ч, причем по периодам коксования (начало, конец) выход и состав коксового газа изменяются.
- 2) Число батарей не менее 6-8 и достигает до 14 (разных размеров) при числе печей в каждой из них до 60 и более.
- 3) Загрузка и выгрузка печей проводятся последовательно, поэтому **суммарный выход** коксового газа от всех батарей при нормальной их работе получается *практически ровным*.

4) Механизмы коксового производства нуждаются в **ремонтах**, которые сказываются на выходах газа из печей.

5) Иногда останавливают на 12 - 24 ч целые батареи.

6) Ремонты (капитальные, профилактические, внеплановые и прочие) требуются и на УСТК, при этом выработка пара на УСТК прекращается.

*Остановки батарей и УСТК оказывают серьезное влияние на балансы энергоресурсов на заводе в соответствующие периоды времени.*

