# ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ (ВЭР ПП)

Лекции – 14 ч., практика – 4 ч.

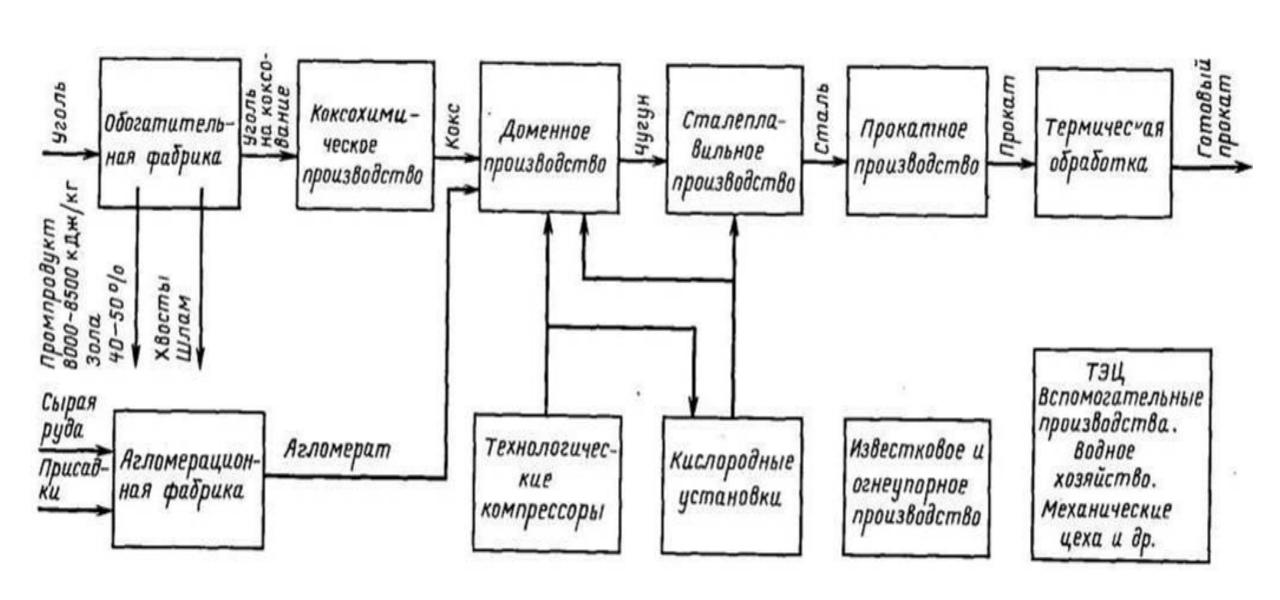
Разработал: д.т.н., проф. Лукин Сергей Владимирович

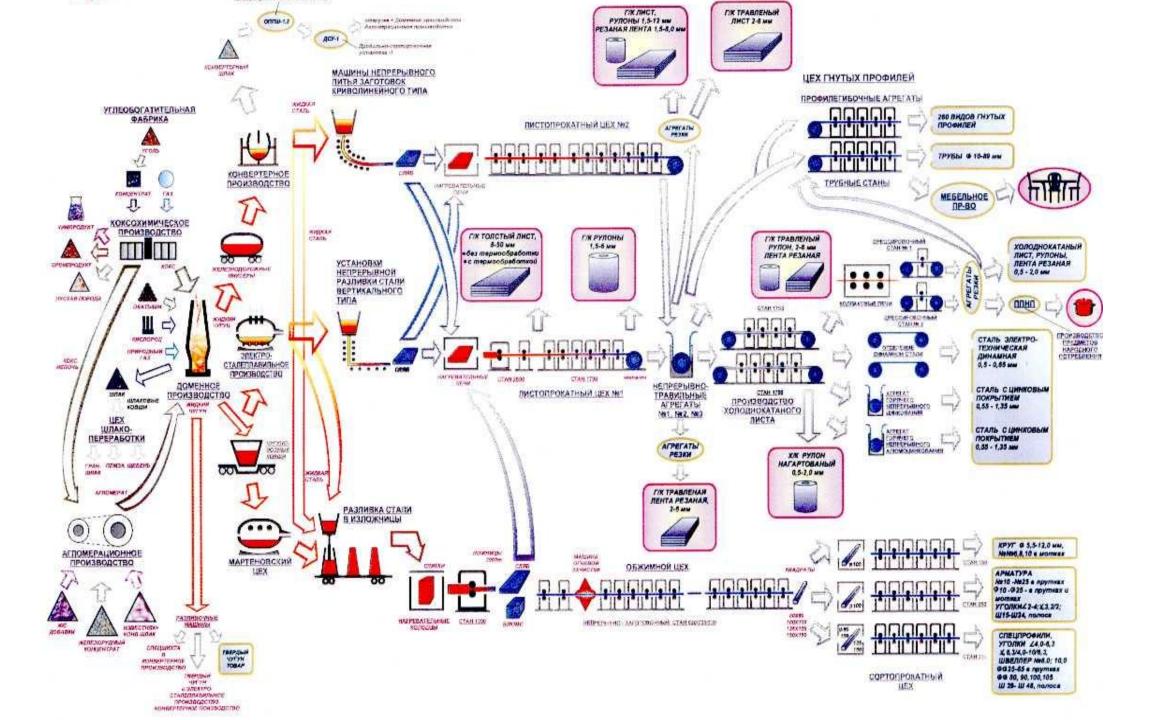


## Литература:

- •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.

# циклом





# 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

#### <u>Теплоэнергетические системы</u>

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 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 О, (содержание О, 99,5%) и технологический
(О, 95%), газообразный и жидкий.
```

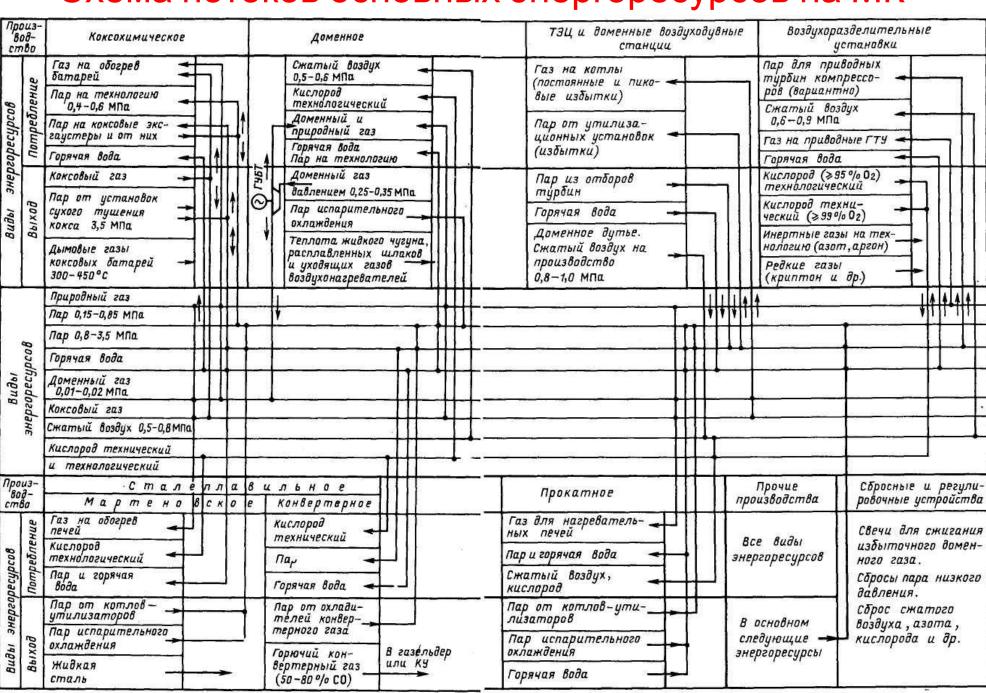
### Энергетические агрегаты и установки:

- •Теплоэлектроцентали (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



Потребители	Годовое потребление условного топлива, тыс. т				
	Домен- ный газ (внутрен- ний ЭР)	Коксовый газ (внутрен- ний ЭР)	Природ- ный газ	Твердое топливо	Жидкое топливо
Доменные печи (вдувание)	-	-	1770		
Воздухонагреватели доменного цеха	694	10	4		
Коксохимическое производство	515	156			
Конвертерные цехи	2000	98	91	(A)	1
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	<del></del>	-	1
Энергетические установки (ТЭЦ, пиковые котельные и др.)	950	265	186	71	1
Прочие потребители .	60	50	20	-	305
Потери (проектные)	80	8	13		-
Всего	2556	1541	3170	362	305

## 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)

$$B_{y} = B \cdot Q_{H}/29,3$$

1000 м³ природного газа ≅ 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:

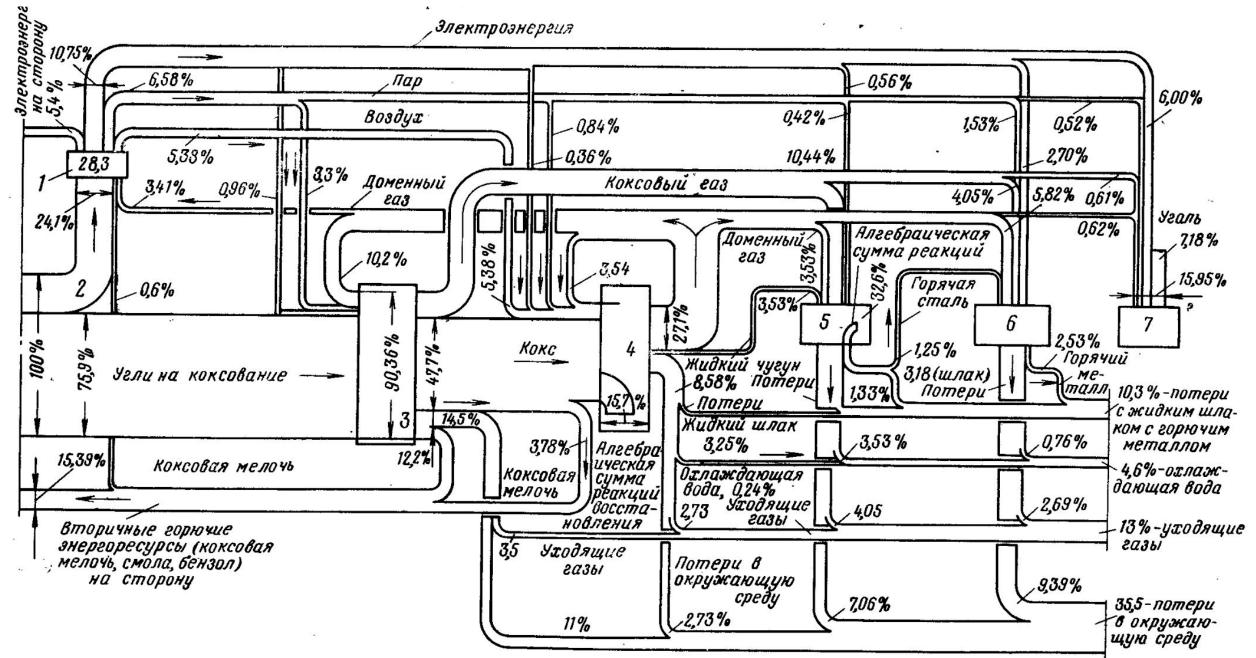
- горючих продуктов (газообразных, жидких, твердых);
- различных носителей физической теплоты;
- газов и жидкостей с избыточным давлением

# Топливно-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.

#### Топливно-энергетический баланс металлургического



#### 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).



#### К горючим энергоресурсам относятся:

горючие газы от различных технологических агрегатов (ТА), доменных, коксовых 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 относят:

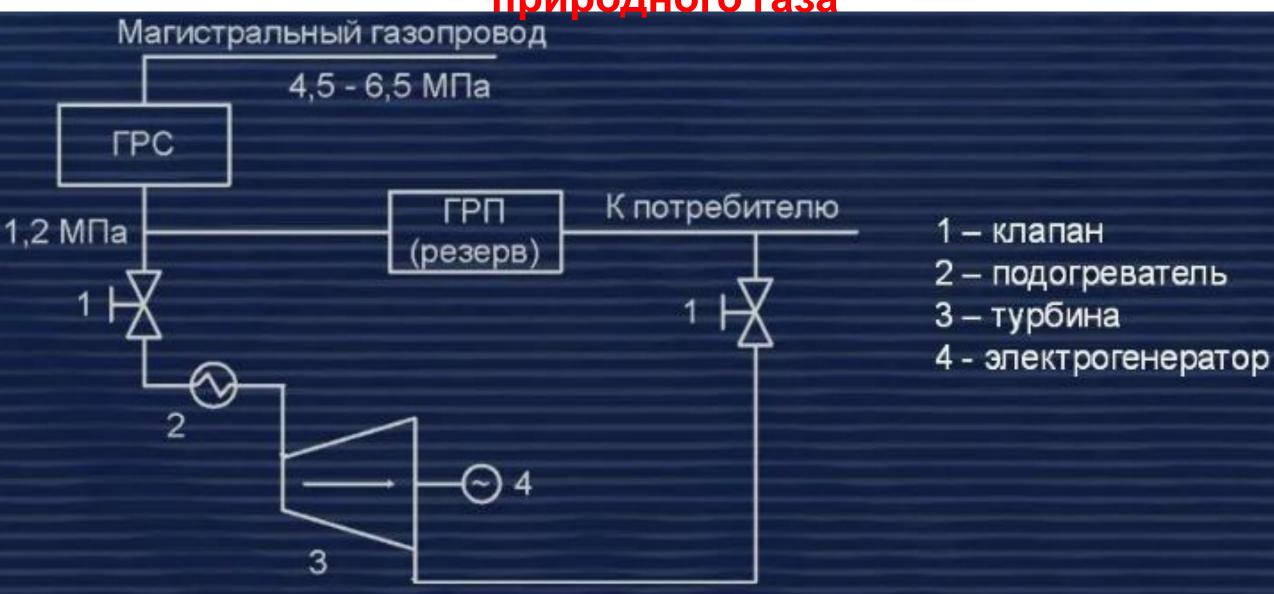
- физическую теплоту различных газов, выходящих из технологических агрегатов;
- раскаленного кокса;
- огненно-жидких шлаков;
- горячего агломерата;
- основных продуктов, выдаваемых технологическими агрегатами при высоких температурах;
- теплоносителей, охлаждающих конструктивные элементы ТА;
- отработавшего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

# **К третьему виду энергоресурсов** относят:

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

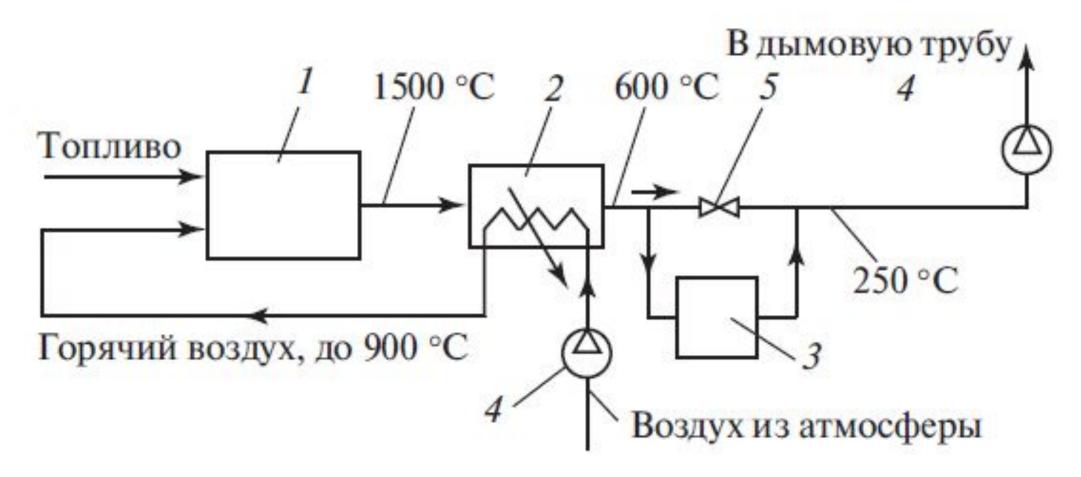


В понятие <u>«вторичные энергоресурсы»</u> (ВЭР) включаются все без исключения виды энергоресурсов, которые образуются на предприятиях и не используются по тем или иным причинам в генерирующих их технологических агрегатах, включая отходы горючего сырья, которые не используются в данном агрегате или в 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

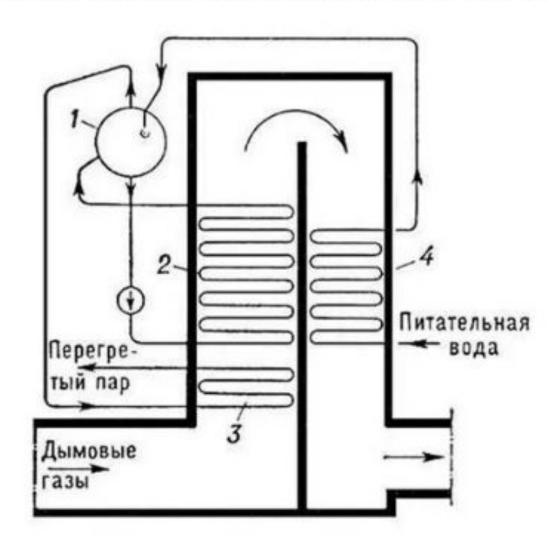


1 — технологический агрегат; 2 — воздухонагреватель; 3 — котелутилизатор; 4 — дымосос и вентилятор; 5 — запорный орган

## Котлы-утилизаторы

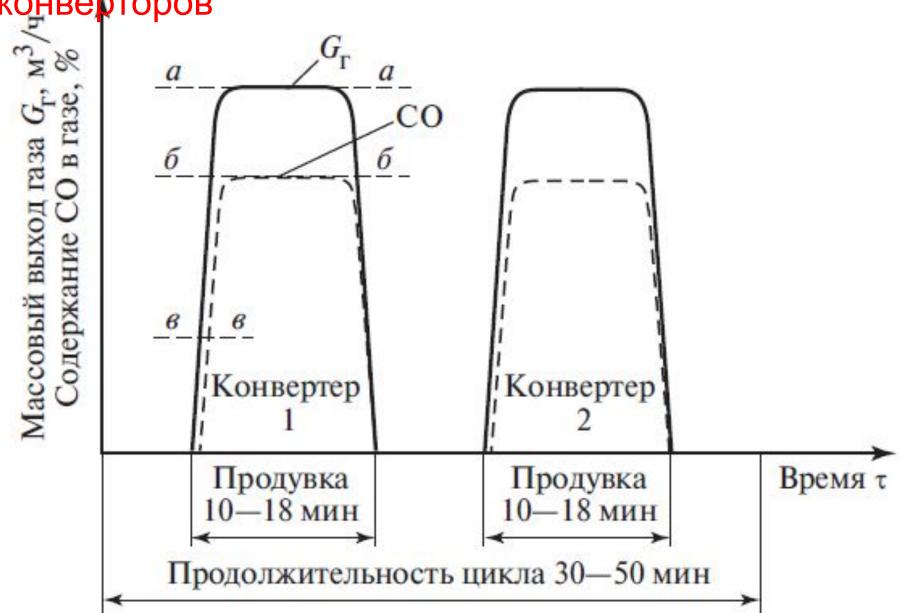
- Котёл-утилизатор это паровой котёл, не имеющий собственной топки и использующий тепло газообразных продуктов реакции или отходящих газов какой-либо промышленной установки для получения пара.
- Температура газов, поступающих в котёл-утилизатор, 450-1000°С
- Водогрейные котлы-утилизаторы называют экономайзерами.





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 конверторов



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:

$$\mathbf{9}_{\mathsf{B}\mathsf{3P}} = \mathbf{9}_{\mathsf{X}} + \mathbf{9}_{\mathsf{H}} + \mathbf{9}_{\mathsf{K}} + \mathbf{9}_{\mathsf{T}}$$

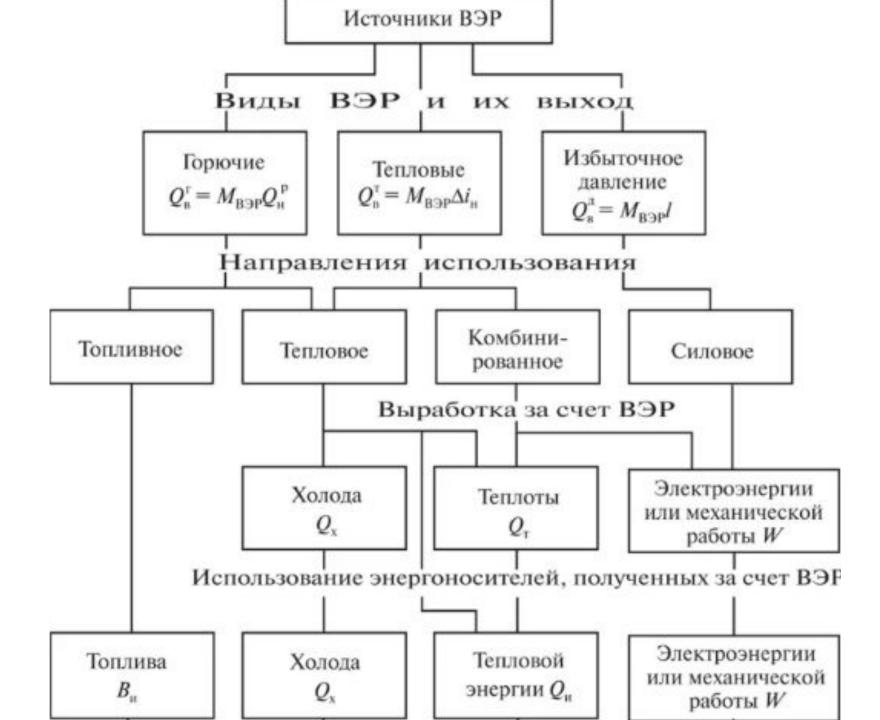
- Э<sub>х</sub> химическая энергия горючих компонентов ВЭР (суммарная теплота сгорания этих компонентов;
- Э<sub>д</sub> физическая энергия, определяемая превышением давления компонентов ВЭР над давлением среды;
- **Э**<sub>к</sub> кинетическая энергия, определяемая скоростью движения компонентов ВЭР;
- **Э**<sub>т</sub> 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 МПа и температуру на выходе из печи  $150-350^{\circ}$  C;

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

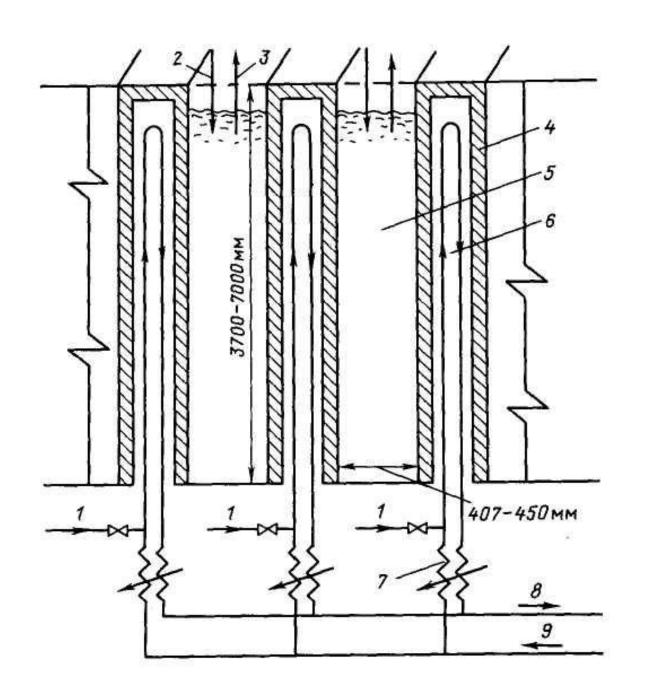


# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДСТВ

#### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА



### Схема устройства печи для выжига кокса



1 - топливо;

2, 3 - устройства для загрузки угля и отвода коксового газа;

4 - простенки из огнеупорного кирпича;

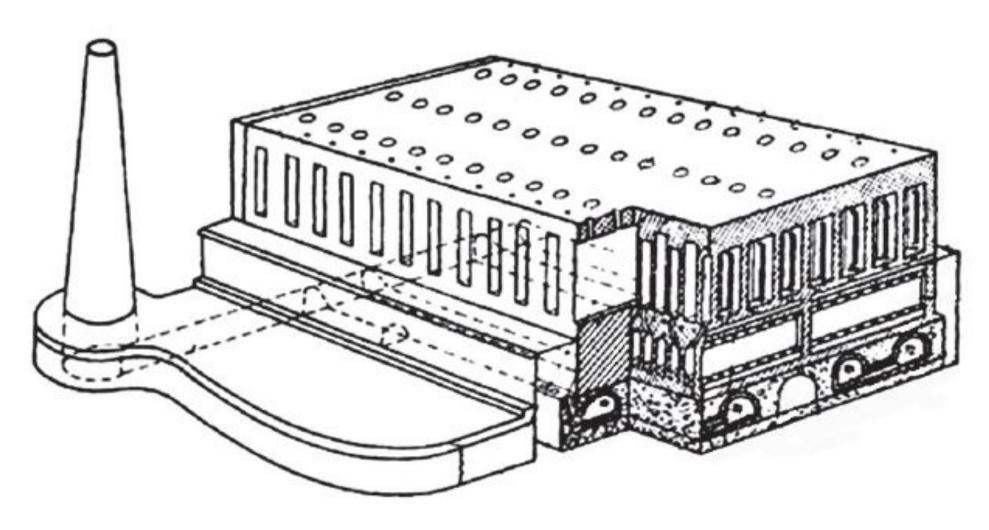
5 - уголь в камере коксования;

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 м*<sup>3</sup> 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
H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub>	 22 - 27
CO	 5 - 8
$N_2$	 5 - 11
N <sub>2</sub> CO <sub>2</sub>	 2 - 4
CH	 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.

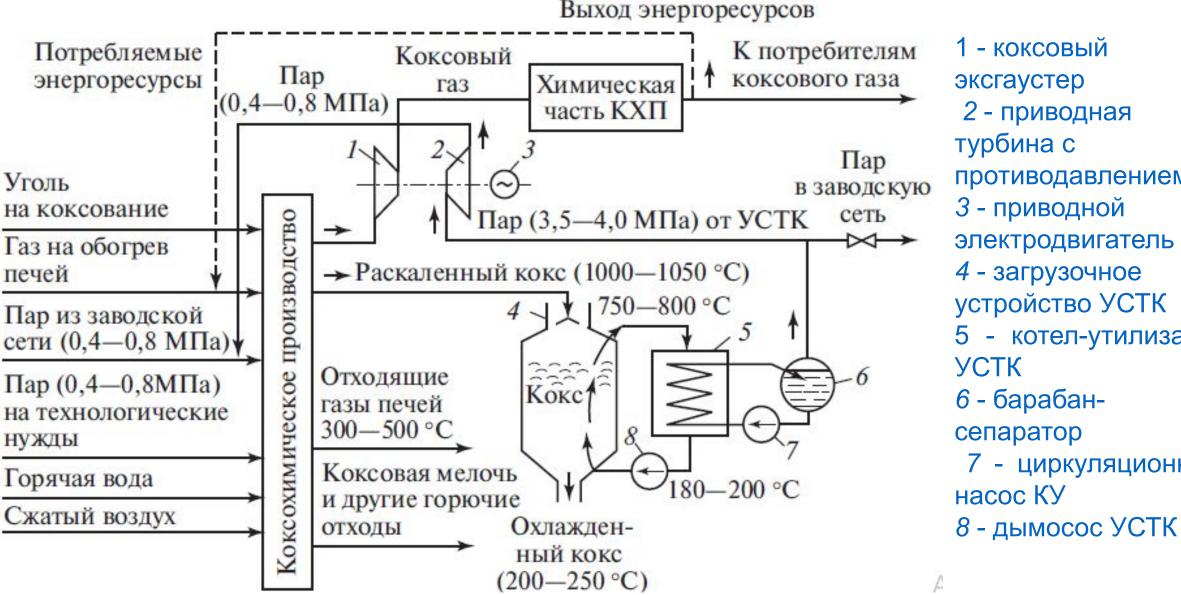
Удельный расход условного топлива на выжиг кокса в современных печах равен 0,085—0,10 т/т.

Распределяется теплота топлива следующим образом, %:

### Упрощенная

#### схема

#### коксохимического



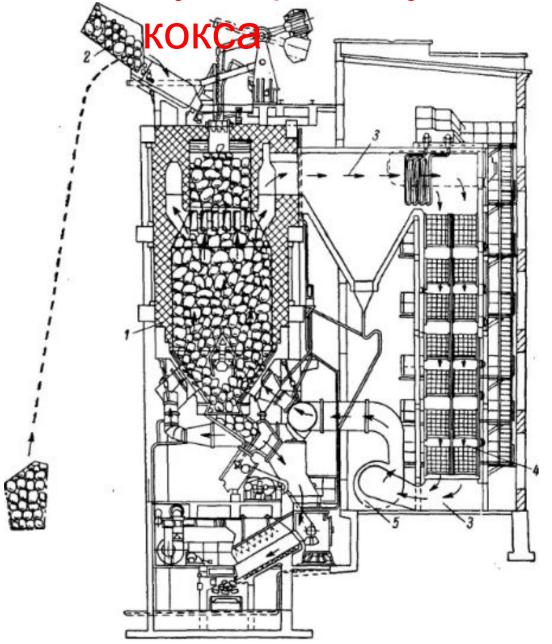
1 - коксовый эксгаустер 2 - приводная противодавлением 3 - приводной электродвигатель 4 - загрузочное устройство УСТК - котел-утилизатор 6 - барабансепаратор 7 - циркуляционный

## Химическая часть современного КХП

представляет собой сложный комплекс, в котором из содержащихся неочищенном коксовом газе продуктов вырабатываются в больших сульфат-аммоний количествах (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°C толкателем выталкивается из камеры в вагон специальной конструкции и доставляется в установки мокрого или сухого тушения кокса.

## Бункерная установка сухого тушения



- 1 тушильная камера
- 2 скиповый подъемник
- 3 инертные газы
- 4 котел-утилизатор
- 5 вентилятор

Инертиные газы, выходящие из бункера с температурой 750-800 °C, направляются в котелутилизатор, где они охлаждаются до 180-200 °C и затем нагнетателем подаются снова в бункер.

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

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 °C.

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

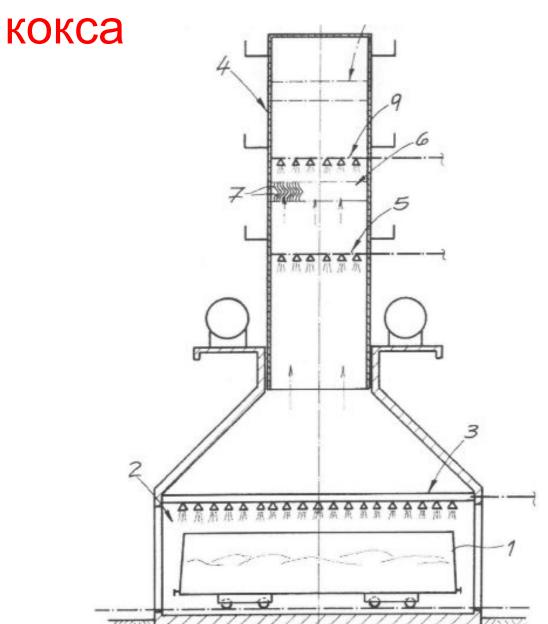
Ранее и еще теперь кокс охлаждался водой в специальных тушильных башнях.

Удельный расход воды на тушение кокса составляет 4-5 м<sup>3</sup>/m.

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



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 доходит 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 соответствующие периоды времени.

