ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ (ВЭР ПП)

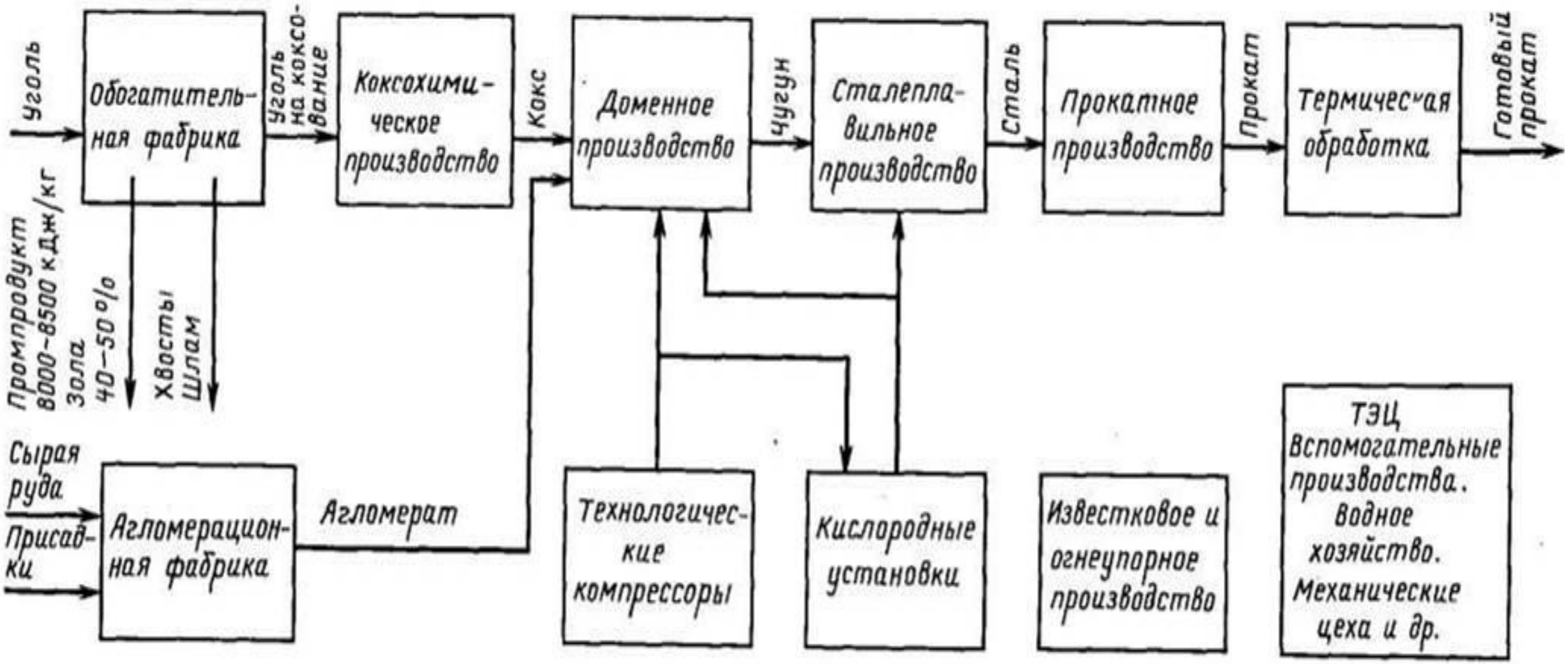
Лекции – 14 ч., практика – 4 ч.

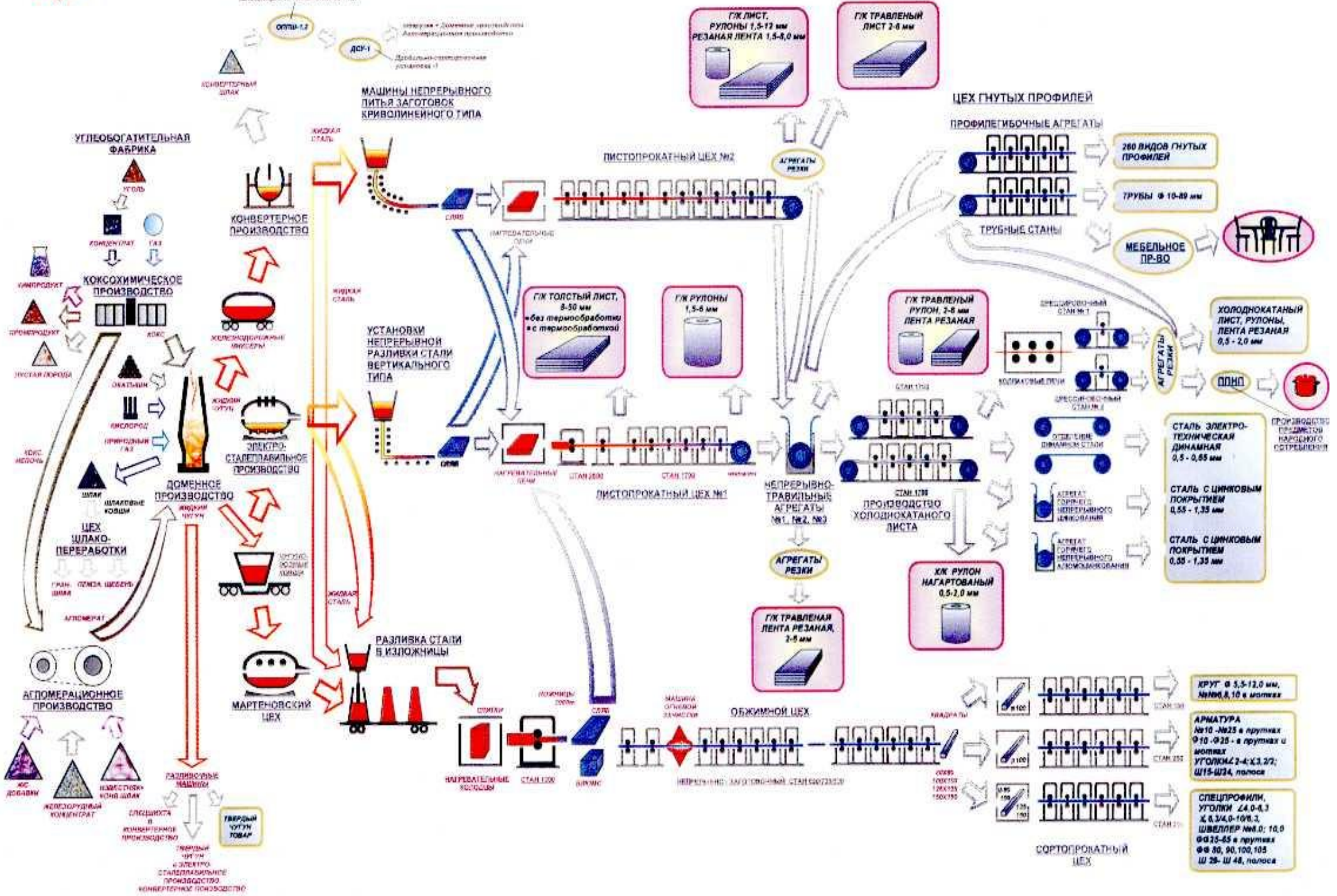
Разработал: д.т.н., проф. Лукин Сергей Владимирович

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




УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНАЯ ФАБРИКА
УГОЛЬ
КОНЦЕНТРАТ
ГАЗ
КОКСОХИМИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО
ХИМПРОДУКТ
ПРОМПРОДУКТ
ПУСТАЯ ПОРОДА
КОКС
ОКАТЫШИ
КИСЛОРОД
ПРИРОДНЫЙ ГАЗ
ШЛАК
ШЛАКОВЫЕ КОВШИ
ЦЕХ ШЛАКО-ПЕРЕРАБОТКИ
АГЛОМЕРАТ
АГЛОМЕРАЦИОННОЕ ПРОИЗВОДСТВО
ЖС ДОБАВКИ
ЖЕЛЕЗОРУДНЫЙ КОНЦЕНТРАТ
ИЗВЕСТЬСОДЕРЖАЩИЕ ОТХОДЫ
ОПТШ-1,2
ДСУ-1
КОНВЕРТЕРНЫЙ ШЛАК
КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
ЖИДКАЯ СТАЛЬ
ЖИДКИЙ ЧУГУН
ЖИДКИЙ ШЛАК
ЭЛЕКТРО-СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО
МАРТЕНОВСКИЙ ЦЕХ
МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК КРИВОЛИНЕЙНОГО ТИПА
УСТАНОВКИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПА
РАЗЛИВКА СТАЛИ В ИЗЛОЖНИЦЫ
РАЗЛИВОЧНЫЕ МАШИНЫ
ТВЕРДЫЙ ЧУГУН ТОВАР
ЛИСТОПРОКАТНЫЙ ЦЕХ №2
ЛИСТОПРОКАТНЫЙ ЦЕХ №1
НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ
НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ КОЛОДЦЫ
СТАН 2000
СТАН 1700
СТАН 1200
НЕПРЕРЫВНО-ТРАВИЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ №1, №2, №3
АГРЕГАТЫ РЕЗКИ
ПРОИЗВОДСТВО ХОЛОДНОКАТАНОГО ЛИСТА
ОБЖИМНОЙ ЦЕХ
СОРТОПРОКАТНЫЙ ЦЕХ
ГК ЛИСТ, РУЛОНЫ 1,5-12 мм РЕЗАНАЯ ЛЕНТА 1,5-8,0 мм
ГК ТРАВЛЕНЫЙ ЛИСТ 2-6 мм
ГК ТОЛСТЫЙ ЛИСТ, 8-50 мм «без термообработки «с термообработкой
ГК РУЛОНЫ 1,5-6 мм
ГК ТРАВЛЕНЫЙ РУЛОН, 2-6 мм ЛЕНТА РЕЗАНАЯ
ГК ТРАВЛЕНАЯ ЛЕНТА РЕЗАНАЯ, 2-6 мм
ХК РУЛОН НАГАРТОВАННЫЙ 0,5-2,0 мм
ЦЕХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ
ПРОФИЛЕГИБОЧНЫЕ АГРЕГАТЫ
260 ВИДОВ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ
ТРУБЫ Ф 10-89 мм
ТРУБНЫЕ СТАНЫ
МЕБЕЛЬНОЕ ПР-ВО
ХОЛОДНОКАТАНЫЙ ЛИСТ, РУЛОНЫ, ЛЕНТА РЕЗАНАЯ 0,5 - 2,0 мм
ППНП
ПРОИЗВОДСТВО ПРЕДМЕТОВ НАРОДНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ
СТАЛЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ДИНАМНАЯ 0,5 - 0,65 мм
СТАЛЬ С ЦИНКОВЫМ ПОКРЫТИЕМ 0,55 - 1,35 мм
СТАЛЬ С ЦИНКОВЫМ ПОКРЫТИЕМ 0,55 - 1,35 мм
КРУГ Ф 5,5-12,0 мм, №№6,8,10 в мотках
АРМАТУРА №10 -№25 в прутках Ф10 -Ф25 - в прутках и мотках УГОЛОК∠ 2-4; ∠ 3,2/2; Ш15-Ш24, полоса
СПЕЦПРОФИЛИ, УГОЛКИ ∠4,0-6,3 ∠ 6,3/4,0-10/6,3, ШВЕЛЛЕР №6,0; 10,0 ФФ25-65 в прутках ФФ 80, 90, 100, 105 Ш 28- Ш 48, полоса

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.

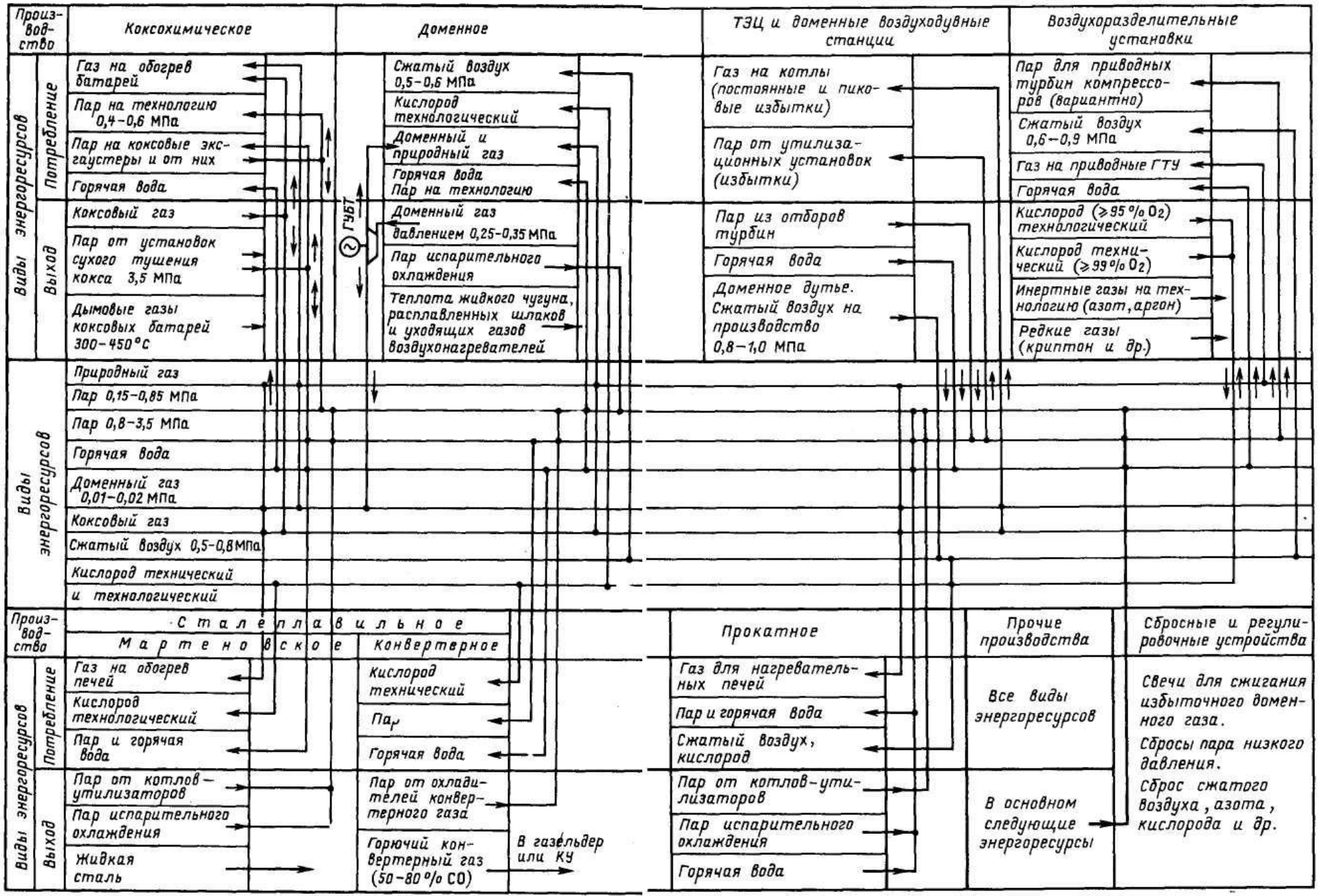
Энергетические агрегаты и установки:

- 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				
	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	—	—
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 ($Q_у$ = 29,31 МДж/кг)

$$B_у = B \cdot Q_н / 29{,}3$$

1000 м^3 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*

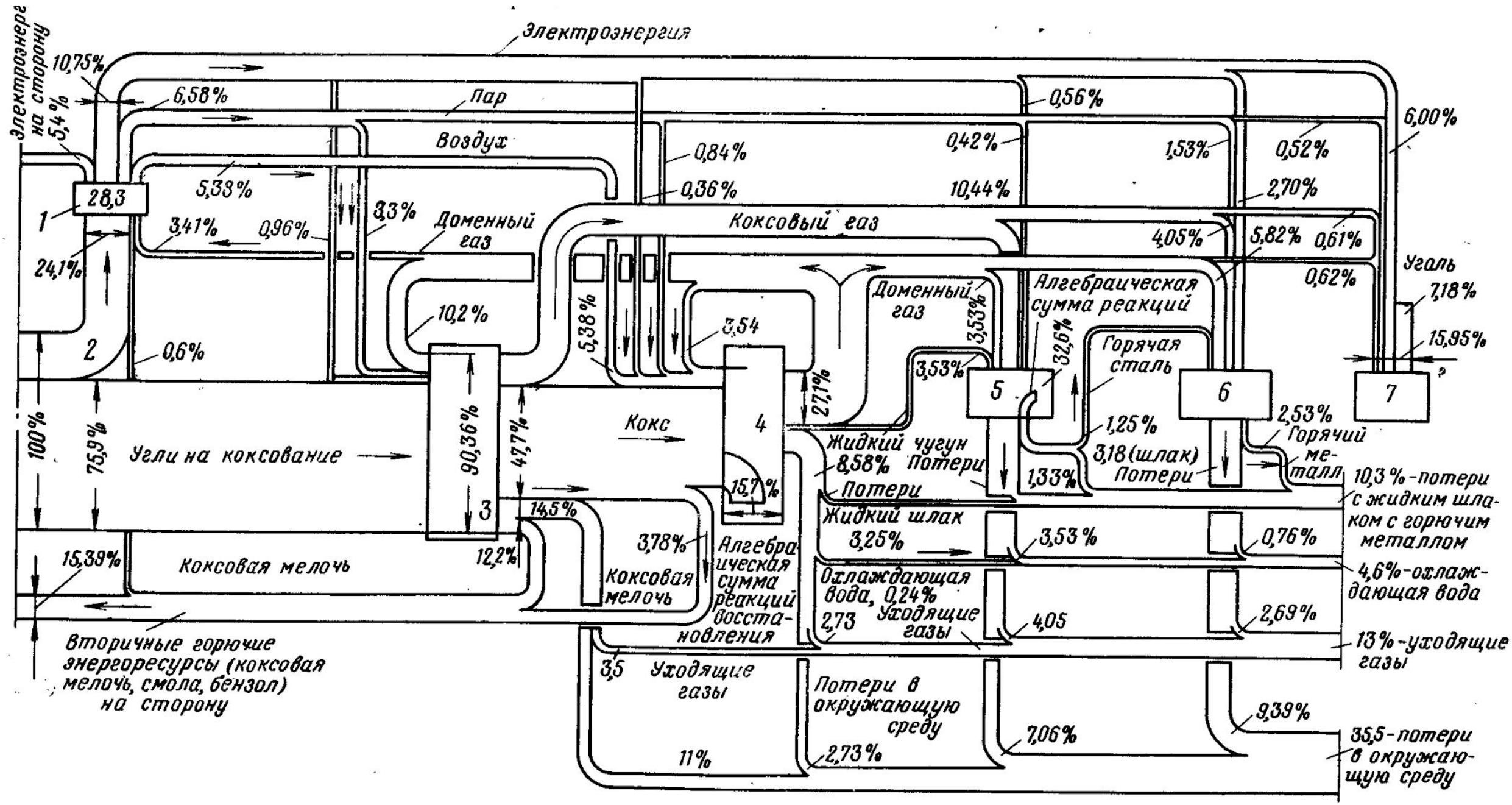
Топливно-энергетический баланс промышленного предприятия

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).*

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 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.

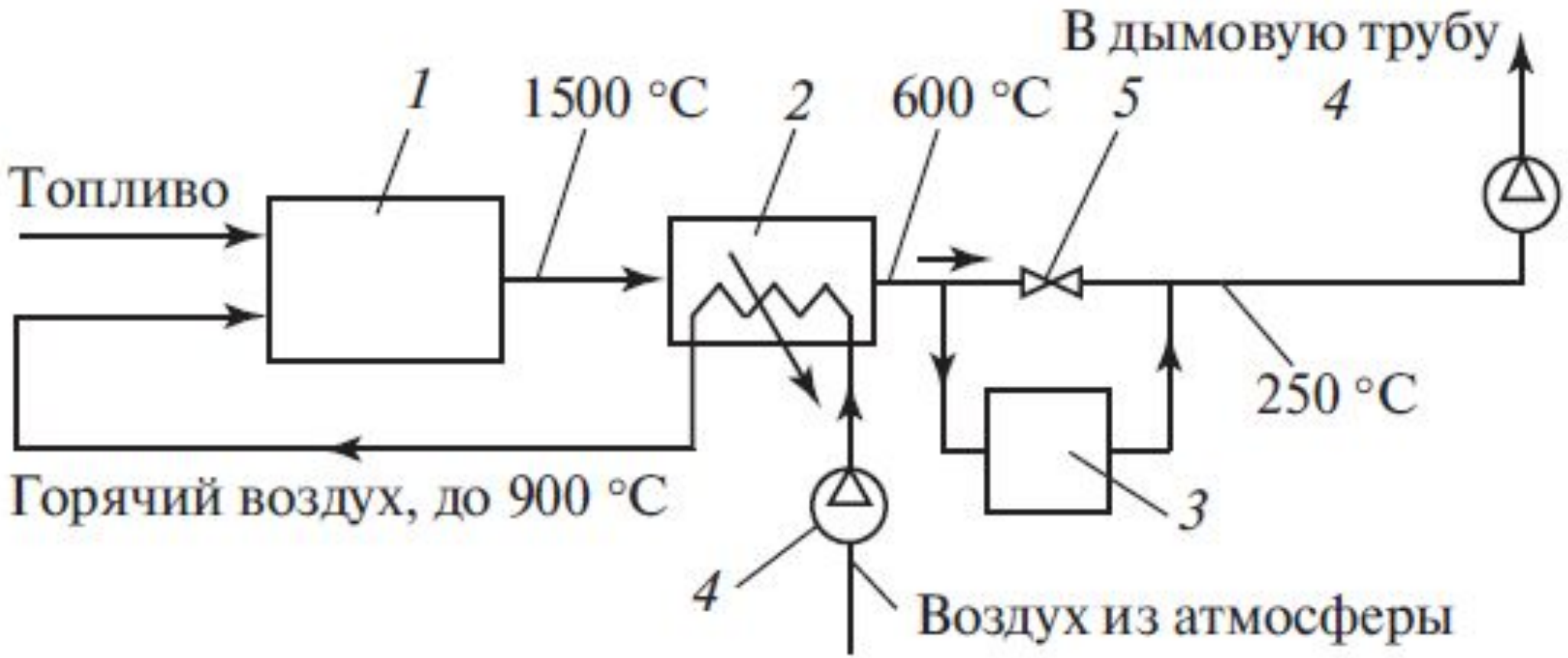
Использование избыточного давления природного газа

В понятие **«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.

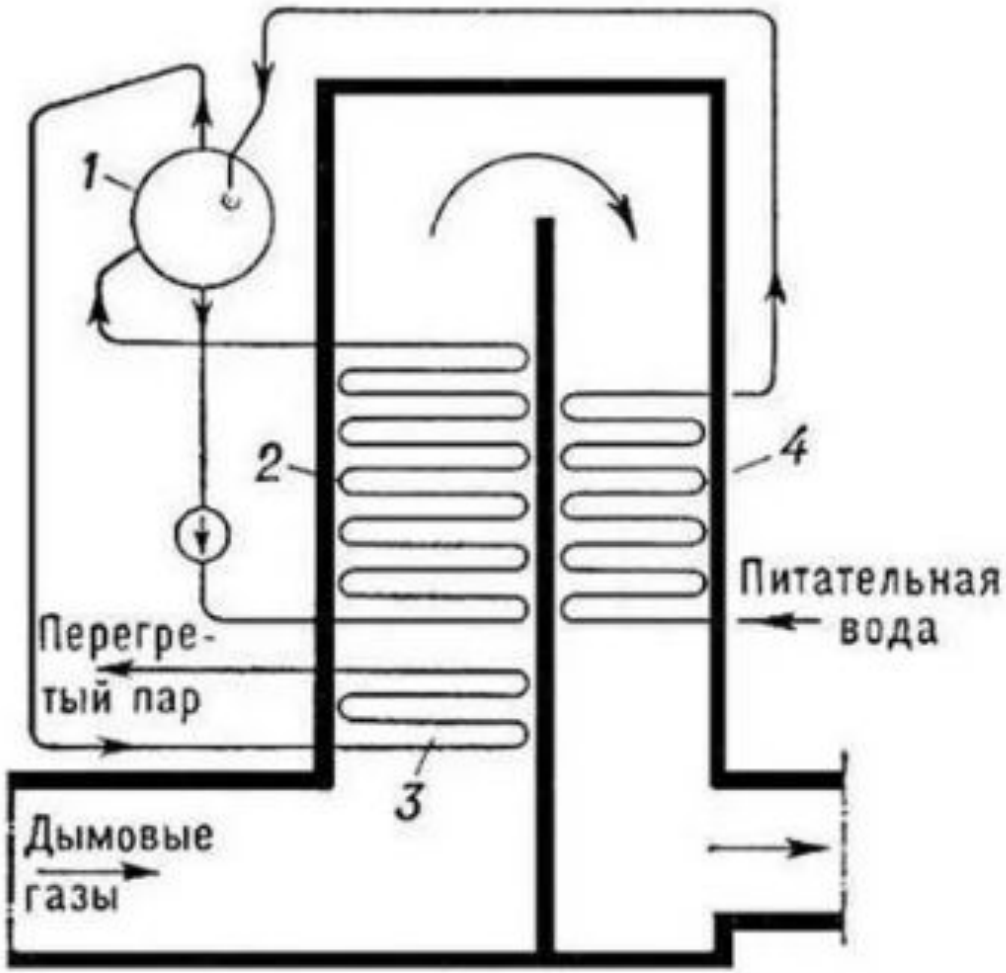
Схема установки котла-утилизатора



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

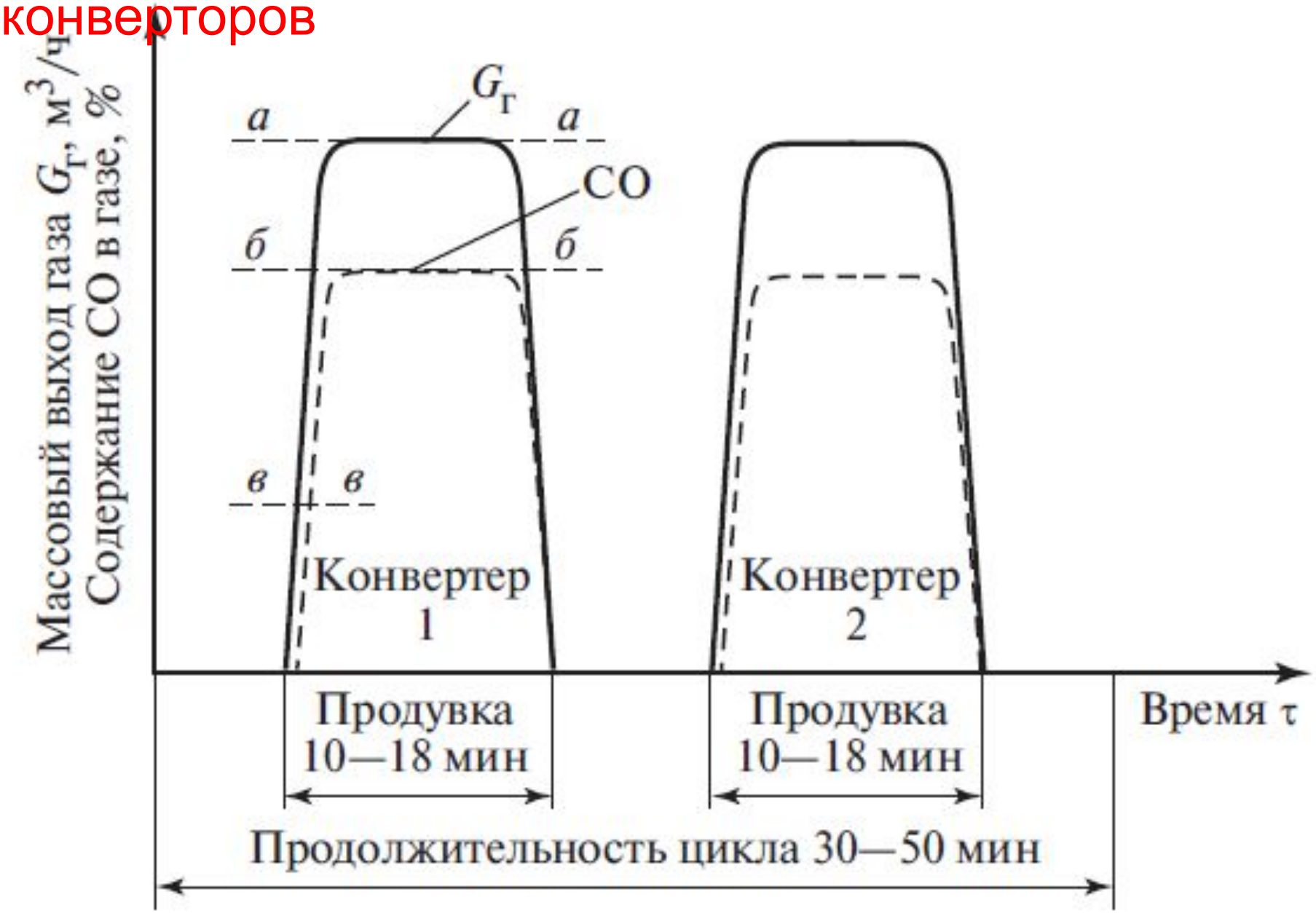
Котлы-утилизаторы

- **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°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:

$$Э_{ВЭР} = Э_х + Э_д + Э_к + Э_т$$

$Э_х$ - химическая энергия горючих компонентов ВЭР (суммарная теплота сгорания этих компонентов;

$Э_д$ - физическая энергия, определяемая превышением давления компонентов ВЭР над давлением среды;

$Э_к$ - кинетическая энергия, определяемая скоростью движения компонентов ВЭР;

$Э_т$ - 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 кДж/м*^{3}, давление *0,13-3,5 МПа* и температуру на выходе из печи *150-350° С*;

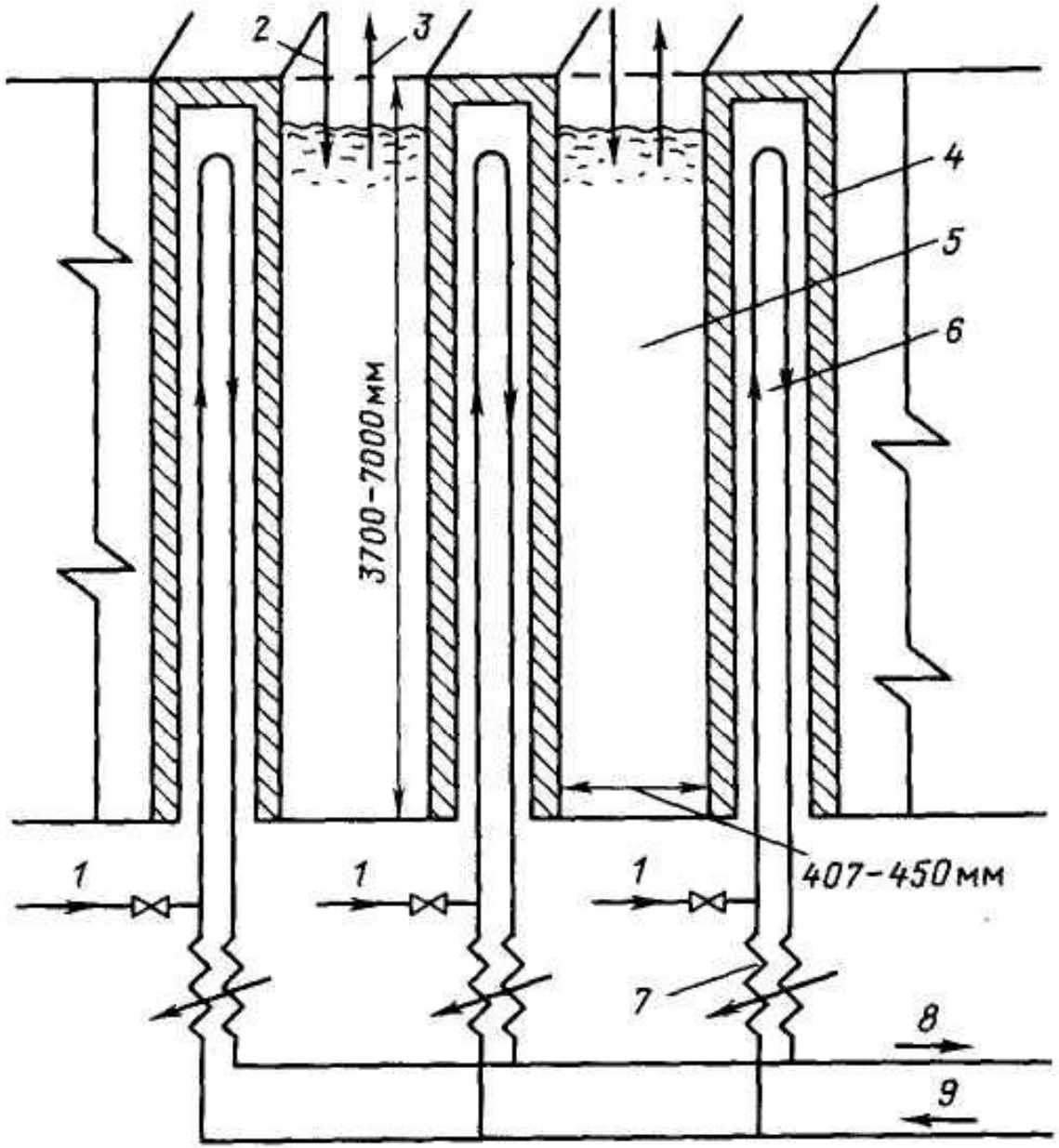
газы на выходе из конвертера имеют температуру *1500—1600° С* и теплоту сгорания после газоочистки *6700—8500 кДж/м*^{3}.

Источники ВЭР
Виды ВЭР и их выход
Горючие
$Q_в^г = M_{ВЭР} Q_н^р$
Тепловые
$Q_в^т = M_{ВЭР} \Delta i_н$
Избыточное давление
$Q_в^д = M_{ВЭР} l$
Направления использования
Топливное
Тепловое
Комбини-рованное
Силовое
Выработка за счет ВЭР
Холода
$Q_х$
Теплоты
$Q_т$
Электроэнергии или механической работы W
Использование энергоносителей, полученных за счет ВЭР
Топлива
$B_н$
Холода
$Q_х$
Тепловой энергии $Q_н$
Электроэнергии или механической работы W

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДСТВ

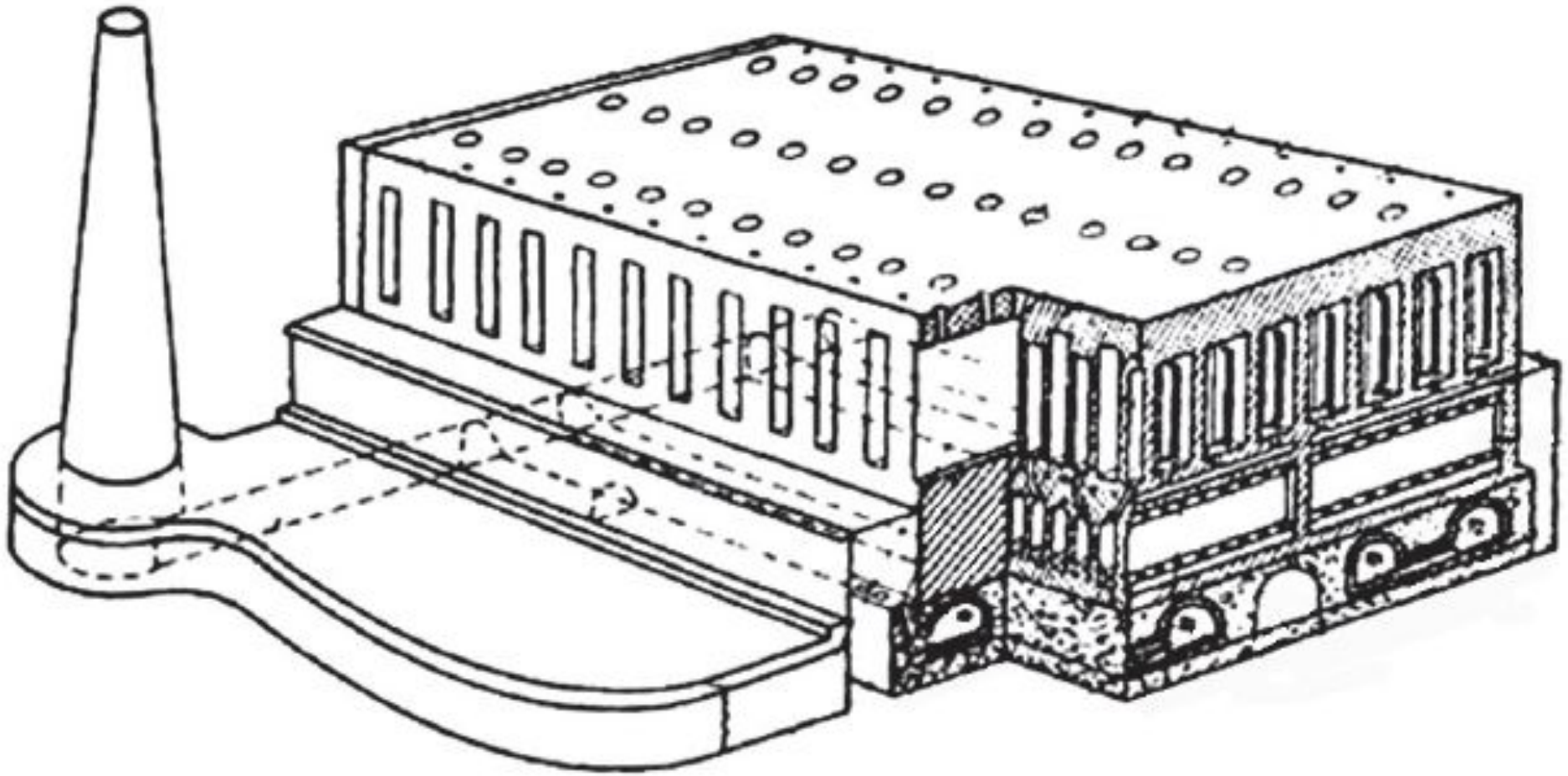
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

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^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^3
(для сравнения у природного газа – 32-36 МДж/м^3)

(*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^3.

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.

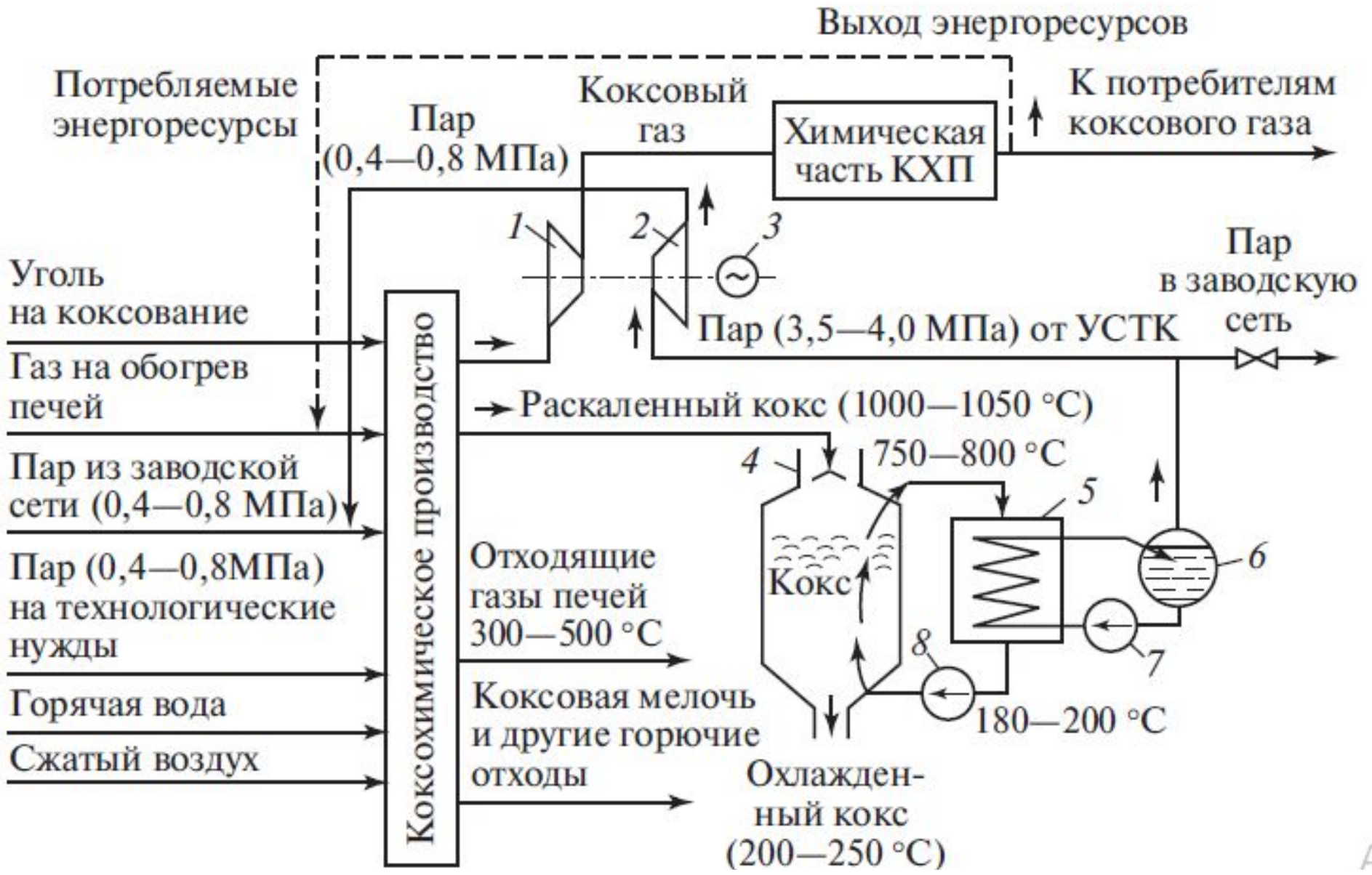
Удельный расход угля составляет в среднем 1,3 т/т кокса.

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



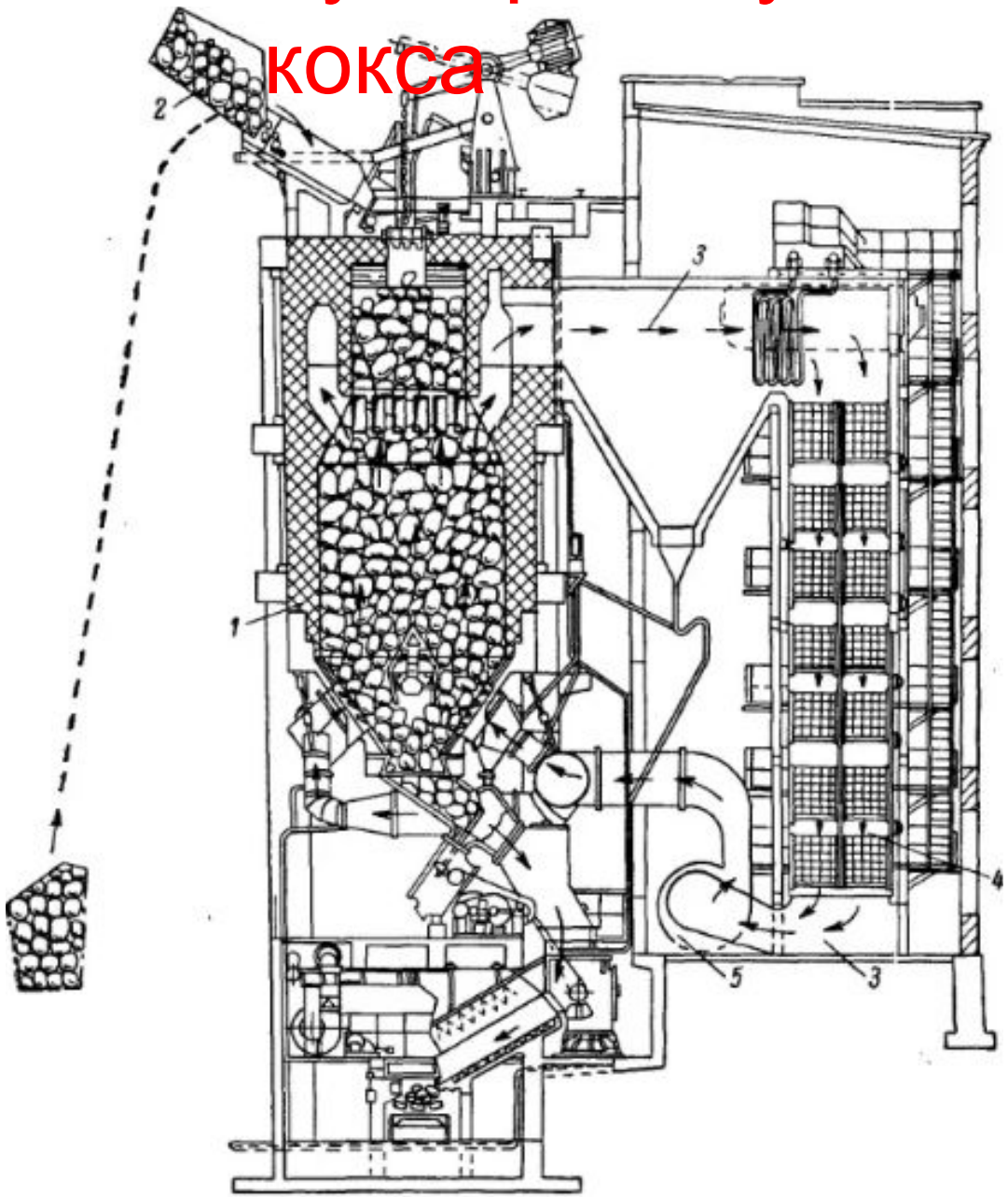
1 - коксовый эксгаустер
2 - приводная турбина с противодавлением
3 - приводной электродвигатель
4 - загрузочное устройство УСТК
5 - котел-утилизатор УСТК
6 - барабан-сепаратор
7 - циркуляционный насос КУ
8 - дымосос УСТК

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.

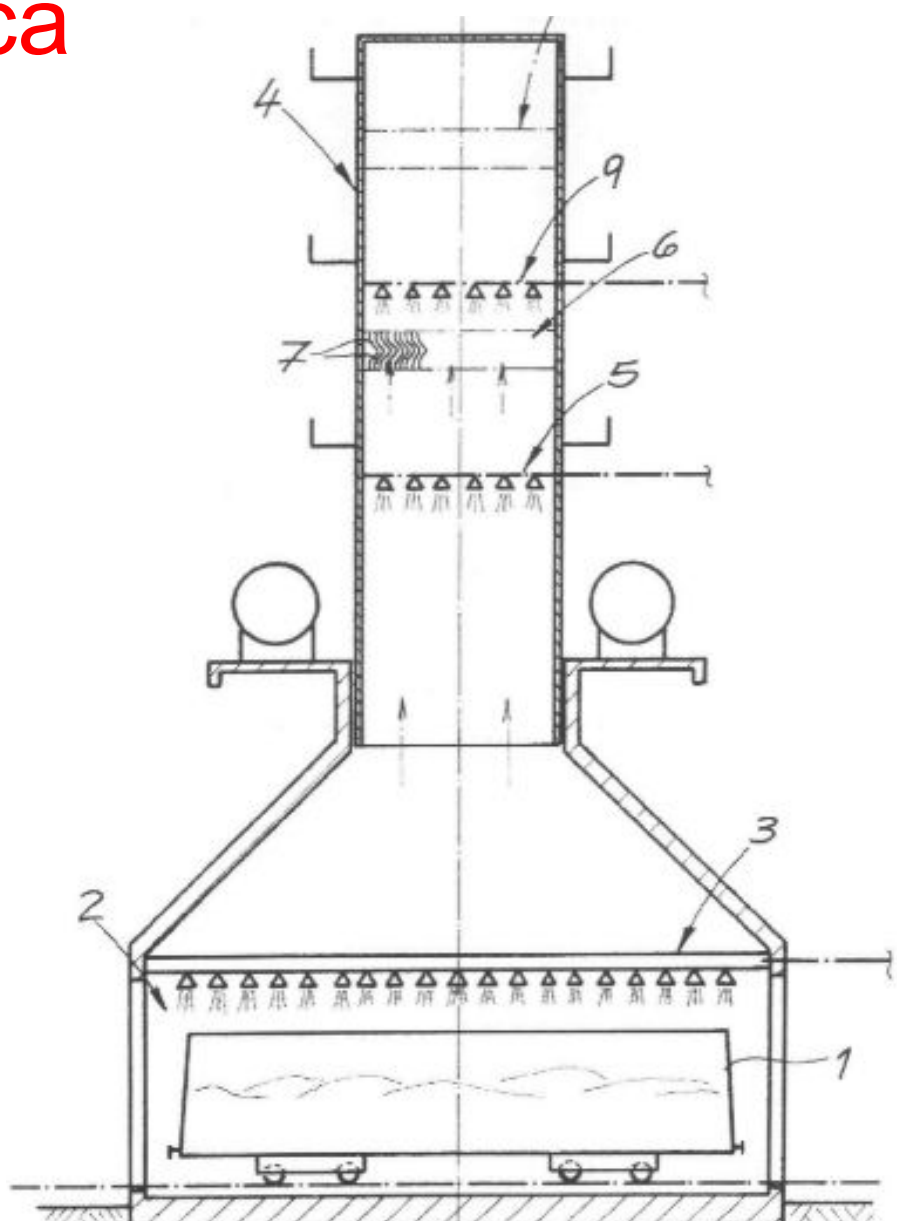
Ранее и еще теперь кокс охлаждался водой в специальных тушильных башнях.

Удельный расход воды на тушение кокса составляет *4-5 м^3/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 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 в соответствующие периоды времени.