

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ

Р.Г.Хейфец, Г.Н.Куваев

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ**

ДНЕПРОПЕТРОВСК НМетАУ 2000

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ

Р.Г.Хейфец, Г.Н.Куваев

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ДЛЯ СТУДЕНТОВ  
НЕЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

ДНЕПРОПЕТРОВСК НМетАУ 2000

УДК 620.9:621.1.016

Хейфец Р.Г., Куваев Г.Н. Теплоэнергетика металлургических заводов: – Учеб. пособие. – Днепропетровск: НМетАУ, 2000. – 66 с.

В конспекте лекций (курс, рассчитанный на 16 лекционных часов) рассмотрены вопросы назначения и структуры энергетического хозяйства металлургических предприятий. Показана роль энергетического хозяйства в обеспечении функционирования основных металлургических производств. Представлено все многообразие энергоносителей, используемых в металлургии. Рассмотрен принцип действия основных энергетических агрегатов и их конструкция. Отмечено важное значение для металлургии вторичных энергетических ресурсов и роль энергосбережения в рациональном использовании энергоносителей. Рассмотрены основные принципы и аппараты, обеспечивающие защиту окружающей среды от вредных выбросов металлургического производства.

Конспект лекций по дисциплине «Теплоэнергетика металлургических заводов» предназначен для студентов неэнергетических специальностей

Ил. 16. Табл. 3. Библиогр.: 11 назв.

Ответственный за выпуск Б.Б.Потапов канд. техн. наук, доц.

Рецензенты: В.И.Самуся доктор техн. наук, проф.  
(НГАУ)  
В.Я.Ободан доктор техн. наук  
(НИИАчермет)

Редактор А.Ю.Сосонная



Национальная металлургическая академия Украины, 2000

## **Введение**

Металлургические предприятия являются крупными потребителями энергоресурсов, необходимых для осуществления техно-логических процессов. Все металлургические процессы по своей сути являются процессами теплотехнологическими, связаны с высокотемпературным воздействием на материалы и сопутствующими процессами тепломассообмена. Важной особенностью металлургического производства является его значительная энергоемкость, использование разнообразных энергоносителей и вторичных энергоресурсов (ВЭР).

Производство, распределение, рациональное использование энергоресурсов входит в сферу деятельности энергетической службы металлургического предприятия. К этой службе относятся цехи, станции и участки, основным оборудованием которых являются теплоэнергетические установки.

Будущим металлургам необходимо иметь общие представления об энергоносителях и энергетическом хозяйстве завода, его структуре и оборудовании для того, чтобы представлять, насколько тесно связаны основные металлургические технологии и технико-экономические показатели с состоянием энергетики предприятия. Это и является целью настоящего курса лекций.

# 1. Состояние черной металлургии Украины

В настоящей лекции использованы материалы выполненной Укргипрометом работы по анализу состояния дел в черной металлургии и перспективам её развития до 2010 года. Анализировались данные 1990 года – последнего года стабильного производства. Поэтому приведенные цифры дают лишь представление о возможностях чёрной металлургии Украины. В некоторых случаях для сравнения используются показатели, отражающие нынешнее состояние металлургии, характеризующееся глубоким спадом производства. Естественно, эти данные должны каждый год корректироваться.

## 1.1. Место чёрной металлургии Украины в мире

Украина занимала 2-ое место в СНГ по объёму производства важнейших видов металлопродукции и 5-ое в мире после России, Японии, США и Китая.

Объём производства основных видов металлопродукции в Украине и их доля в объёме производства стран СНГ по состоянию на 1990 году приведены в табл.1.1. Здесь же в знаменателе представлены опубликованные данные по объёму производства основных видов металлургической продукции в 1997 году.

Таблица 1.1

Объём производства основных видов металлопродукции

Вид продукции	Объём производства, млн.т	От объёма производства СНГ, %
Чугун	45/ (20,6)	42
Сталь	53/ (25,2)	34
Прокат	38/ (19,5)	34
Трубы	6,5/ (1,8)	35
Метизы	2,5/ (0,36)	32
Кокс	35/ (16,3)	44
Железная руда	104/ (53,3)	45

В 1990 году за счёт собственного производства Украина удовлетворила свою потребность в готовом прокате на 86%, в трубах на 93%, в железорудном сырье, коксе и чугуне на 100%.

В 1997 году более 75% готового проката экспортировалось, что свидетельствует о кризисном положении внутреннего рынка.

## **1.2. Характеристика технического уровня оснащённости чёрной металлургии**

Указанные выше объёмы производства металлопродукции были достигнуты на изношенном оборудовании, с использованием зачастую устаревших технологий. Несколько примеров.

1. В 1990 году 56% стали выплавлялось в энергоемких мартеновских печах, тогда как в Японии к этому времени все мартеновские печи были уже ликвидированы, а в США законсервированы.

2. 92% стали разливалось в изложницы и лишь 8% — на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). В Японии вся сталь разливается на МНЛЗ, причём форма литого профиля максимально приближена к форме готового проката. Здесь следует отметить, что сам способ разливки стали на МНЛЗ был изобретен в СССР.

Большая часть оборудования отрасли устарела (установлено 30-40 лет назад), не обеспечивает требуемого качества продукции и современного уровня производительности труда. Так, износ оборудования в трубной промышленности составляет 60%. Использование такого оборудования сопровождается повышенными затратами топливно-энергетических и материальных ресурсов, увеличением в 1,5-2 раза затрат на ремонтные работы по сравнению со средними показателями по чёрной металлургии стран СНГ. Неудовлетворительное состояние котельного оборудования ТЭЦ, 60% которого исчерпало свой ресурс работы, приводит не только к значительному перерасходу топлива (до 30%), но и ставит под угрозу надежность обеспечения предприятий энергоресурсами.

## **1.3. О мероприятиях по улучшению состояния отрасли**

Сегодня перед чёрной металлургией стоят следующие задачи:

удовлетворение потребностей Украины в собственной металлопродукции и всех видах сырья;

первоочередное решение проблем энергосбережения, экологии, социального развития, рационального использования природных ресурсов;

изменение структуры производства чёрных металлов за счёт совершенствования сортамента, улучшения качества и рационального использования металлопродукции;

коренное обновление оборудования;

внедрение передовых технологий.

Из сказанного следует, что чёрная металлургия Украины нуждается в коренном техническом перевооружении. Технические решения известны, необходимы поиски внутренних резервов и инвестиции, в том числе зарубежные.

## **2. Энергохозяйство и обеспечение энергоресурсами**

### **2.1. Характеристика энергопотребления**

Чёрная металлургия Украины – крупнейший потребитель топливно-энергетических ресурсов. В 1990 году отраслью израсходовано почти 65млн тонн условного топлива (теплота сгорания 1 кг условного топлива 7000 ккал или 29330 кДж) и около 55 млрд кВт.ч электроэнергии – это порядка 1/3 потребности всей промышленности Украины. В 1997 году потребление топлива составило 35 млн тонн условного топлива, расход электроэнергии 37,5 млрд кВт.ч.

Используется топливо в отрасли неэффективно: коэффициент полезного использования не превышает 33% при том, что в целом по промышленности этот показатель порядка 40%. Поэтому имеются перспективы значительной экономии топлива и электроэнергии.

### **2.2. Характеристика ТЭЦ-ПВС и котельных**

Основой энергетического хозяйства отрасли являются теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), на которых производится тепловая энергия в виде пара и горячей воды, и электроэнергия, и котельные, продукцией которых является пар и горячая вода. Зачастую ТЭЦ объединяют с паровоздуходувными станциями (ПВС), которые вырабатывают сжатый воздух для дутья в доменные печи и имеют в качестве привода нагнетателей паровые турбины. Такие теплоэлектроцентрали называют ТЭЦ-ПВС.

На предприятиях отрасли работает 18 ТЭЦ-ПВС и ТЭЦ, на которых установлено следующее оборудование:

паровые котлы высокого давления - 31 шт. (общая производительность 5400 тонн пара в час);

котлы среднего и низкого давления - 80 шт. (общая производительность 5900 тонн пара в час);

турбогенераторы высокого давления - 19 шт. (общая мощность 380МВт);

турбогенераторы среднего давления - 26 шт. (общая мощность 360МВт);

компрессоры доменного дутья - 74 шт. (общая мощность 1200 МВт).

В отрасли эксплуатируется также 44 котельных, в том числе 23 паровых общей производительностью 2100 тонн пара в час и 21 водогрейная.

### **2.3. Утилизация теплоты и использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР)**

Одним из направлений снижения энергопотребления в металлургии является вторичное использование (утилизация) теплоты, выделяемой металлургическими агрегатами. Другим направлением энергосбережения является использование физической, химической и потенциальной энергии газов, получаемых в процессе производства металла, и теплоты готового продукта, например теплоты жидкого чугуна, стали, шлака. Все это называется, использованием ВЭР.

Одним из неудовлетворительно используемых ВЭР является потенциальная энергия доменного газа (в процессе доменной плавки образуется 1000-2500 м<sup>3</sup> газа на тонну чугуна, избыточное давление газа 0,15-0,3 МПа). Эту энергию можно использовать в газовых утилизационных бескомпрессорных турбинах (ГУБТ) для производства электроэнергии. В отрасли за доменными печами установлено всего 5 ГУБТ общей мощностью 60 МВт. Электроэнергия, вырабатываемая ГУБТ, в 2-2,5 раза дешевле электроэнергии, получаемой на ТЭЦ-ПВС. Понятно, что такие турбины можно установить за каждой доменной печью и, следовательно, не терять безвозвратно потенциальную энергию доменного газа.

В отрасли эксплуатируются 2 тепловые утилизационные электростанции (ТУЭС) общей мощностью 35 МВт, работающие



на паре котлов-утилизаторов (КУ), и одна - на паре установки сухого тушения кокса (УСТК), что значительно ниже возможностей отрасли.

За печами и технологическими агрегатами установлены различные теплоутилизаторы (например, рекуператоры), с помощью которых теплота продуктов сгорания используется для нагрева воздуха, газа, воды. Это обеспечивает экономию около 2,3 млн. тонн условного топлива в год.

#### **2.4. Газовое, воздушное, кислородное и водное хозяйство**

В чёрной металлургии используют покупной природный газ, а также горючие газы собственного производства: доменный, коксовый, конвертерный, ферросплавный. Поэтому на любом металлургическом заводе имеются станции и установки, на которых, по необходимости, понижают, или повышают давление газа, смешивают различные газы.

Для интенсификации металлургических процессов широко используется кислород, в отрасли имеются значительные мощности для производства кислорода (10 млрд м<sup>3</sup> в год). В качестве сырья для получения кислорода используют атмосферный воздух.

Сжатый воздух широко используется в качестве энергоносителя в металлургическом производстве для дутья в доменные и мартеновские печи, для привода пневмомашин и пневмоинструментов. Поэтому предприятия черной металлургии имеют развитое хозяйство по производству сжатого воздуха (ПВС и компрессорные станции).

Отраслью потребляется 13 млрд м<sup>3</sup> воды в год, в том числе 3 млрд м<sup>3</sup> свежей воды. Поэтому имеется сложное водное хозяйство, задачей которого является подача воды, ее распределение, охлаждение и очистка. Недостаточное использование оборотных циклов приводит к тому, что в природные водоёмы ежегодно сбрасывается до 2,5 млрд м<sup>3</sup> неочищенной воды.

#### **2.5. Общие недостатки энергохозяйства отрасли**

Завершая краткий обзор энергохозяйства отрасли, отметим следующие недостатки:

моральный и физический износ оборудования;

большие потери вторичных горючих газов (доменного, коксового, конвертерного); к примеру, в 1997 году потери доменного газа составили 2 млрд м<sup>3</sup>, потери коксового газа – 280 млн м<sup>3</sup>;

значительные потери конденсата промышленного пара;

запущенное водно-химическое хозяйство;

отсутствие систем автоматизированного управления;

отсутствие современных газоочистных и водоочистных сооружений на объектах энергохозяйства;

недостаточная мощность энергоремонтных служб.

### **3. Основные направления энергосбережения в черной металлургии**

#### **3.1. Энергосбережение на действующих предприятиях**

Для снижения потребления топливно-энергетических ресурсов, а также для уменьшения загрязнения окружающей природной среды необходимо:

совершенствование и оптимизация существующих технологических процессов;

внедрение новых энергосберегающих и безотходных технологий и оборудования;

структурная перестройка отрасли за счет снижения доли энергоемких производств;

расширение использования ВЭР.

Остановимся более подробно на некоторых примерах эффективных мероприятий по энергосбережению.

В доменном производстве актуально снижение расхода кокса на тонну выплавляемого чугуна (стоимость кокса составляет до 60% стоимости чугуна). Это достигается, например, за счёт использования природного газа, обогащения дутья кислородом, вдувания пылеугольного топлива как частичного заменителя кокса.

В сталеплавильном производстве целесообразна замена мартеновских печей двухванными сталеплавильными агрегатами, дальнейшее развитие конвертерного, электросталеплавильного производства и внепечной обработки стали.

В прокатном производстве необходимо осуществить широкое внедрение технологии непрерывного литья заготовок.

До настоящего времени на металлургических заводах не используется физическое тепло доменного газа (температура газа порядка 300 °С), на большинстве заводов не используется потенциальная энергия давления доменного газа.

Не используется физическое тепло кокса, для его использования необходимо дальнейшее строительство установок сухого тушения кокса.

Конвертерный газ отводится с полным дожиганием, не используется как топливо.

На ряде предприятий имеются возможности более полного использования физического тепла готового продукта в последующих технологических переделах: чугуна в сталеплавильном производстве, а стали – в прокатном.

Не используется физическое тепло металлургических шлаков.

### **3.2. Энергосбережение на создаваемых объектах**

При строительстве новых объектов должны использоваться все прошедшие проверку на действующих предприятиях способы снижения энергозатрат. О некоторых из них мы говорили. Здесь затронем одну из важнейших для отрасли проблем.

В настоящее время большинство металлургических агрегатов имеют водяное охлаждение. Все тепло, отобранное водой, безвозвратно теряется. Если вместо водяного охлаждения использовать испарительное, это существенно снизит потребность в воде, многократно увеличит срок службы систем охлаждения, а пар, полученный при охлаждении металлургических агрегатов, может использоваться на технологические нужды, для отопления и горячего водоснабжения, а также в различного рода энергетических установках: турбогенераторах, турбовоздуходувках.

Существенно снижает энергоемкость сталеплавильного процесса и прокатного производства непрерывная разливка стали. Выполняется такая разливка с помощью машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). В расчёте на одну тонну заготовок МНЛЗ даёт экономию 60 кг коксующихся углей, более 50 кг нефти, 40 м<sup>3</sup> природного газа, 9 м<sup>3</sup> кислорода и около 1500 кВт-ч электроэнергии.

Значительное внимание должно быть уделено более полному использованию топливных и тепловых ВЭР, в частно-

сти, конвертерного и ферросплавного газов. Должны использоваться низкопотенциальные ВЭР: пар низкого давления, теплая вода, вентиляционные выбросы и др. Так как улучшению использования ВЭР способствует применение сухих методов очистки газов, следует отдавать предпочтение аппаратам для сухой очистки газов.

При строительстве и реконструкции ТЭЦ-ПВС следует применять оборудование, работающее на паре высоких параметров (давление до 14 МПа при температуре 550°С). Это обеспечивает повышение к. п. д. паросиловых установок, а, следовательно, ведет к экономии энергоресурсов.

В заключение отметим, что эффективное энергосбережение невозможно без внедрения автоматизированных систем управления производством и технологическими процессами.

### **3.3. Вторичные энергоресурсы**

Являясь крупнейшей топливопотребляющей отраслью промышленности, чёрная металлургия обладает рядом особенностей. Высокотемпературные технологические процессы в металлургии имеют относительно низкую эффективность использования топлива. Значительная часть вносимой в процесс энергии уходит из агрегата с основной продукцией, побочными продуктами, продуктами сгорания. Эта энергия может и должна быть использована в качестве вторичных энергоресурсов.

В настоящее время за счёт использования ВЭР покрывается от 30 до 80% потребности металлургических предприятий в тепловой энергии. Больше всего теплоты от утилизационных установок используют на металлургических комбинатах им. Ильича и Азовсталь, г. Мариуполь.

Отметим, что значительней выход ВЭР в ряде технологических процессов не является достоинством этих процессов. Рационально построенная энергетика технологии должна обеспечивать максимальное использование теплоты в рабочем процессе с минимальными тепловыми и другими отходами, что, в конечном счете, ведет к созданию безотходной технологии.

## **4. Охрана атмосферы и водного бассейна**

### **4.1. Охрана атмосферы**

В 1990 году объекты чёрной металлургии Украины выбросили 3,3 млн т. вредных веществ, в том числе твёрдых – 0,7 млн т., газообразных – 2,6 млн т. В настоящее время общее количество выбросов значительно уменьшилось из-за снижения объемов производства, но удельное (на единицу продукции) возросло из-за снижения качества металлургического сырья и работы оборудования в неоптимальных режимах.

Основной путь уменьшения выбросов – вывод из эксплуатации устаревших агрегатов, оборудовать которые современными улавливающими устройствами практически невозможно.

Мероприятия по снижению выбросов:

пенопылеподавление при обработке сырья;

повышение эффективности очистки на аглофабриках (рециркуляция аглогаса);

уменьшение выбросов на доменных печах за счет новых технических решений (например, бесконусная загрузка доменных печей);

применение рукавных фильтров;

бездымная загрузка и бездымная выдача кокса;

комплексная очистка коксового газа;

использование водомазутных эмульсий для отопления тепловых агрегатов;

рассеивание вредных веществ в атмосфере при помощи высоких дымовых труб.

Для большинства газов, выделяемых агрегатами чёрной металлургии, считается необходимой очистка от нетоксичной пыли до концентрации  $100 \text{ мг/м}^3$ , при которой окраска газа едва заметна. Ориентировочные значения предельно допустимых концентраций (ПДК) некоторых вредных веществ в зоне пребывания людей ( $\text{мг/м}^3$ ) представлены в табл.4.1.

Таблица 4.1

ПДК вредных веществ в атмосфере (мг/м<sup>3</sup>)

Наименование вещества	Максимальная разовая концентрация	Среднесуточная концентрация
Пыль нетоксичная	0,5	0,15
Оксид углерода (CO)	6,0	1,0
Оксиды азота (NO <sub>x</sub> )	0,085	0,085
Сернистый ангидрид (SO <sub>2</sub> )	0,5	0,15
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	0,008	0,008
Фенол (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -OH)	0,01	0,01

#### 4.2. Охрана водного бассейна

Чёрная металлургия является одним из крупнейших потребителей воды – до 15% общего потребления промышленностью. Потребление воды на металлургических заводах распределяется следующим образом:

- охлаждение оборудования – 50%;
- очистка газов и воздуха – 25%;
- обработка и отделка металла – 12%;
- гидротранспорт – 11%;
- прочие нужды – 2%.

Сокращение расхода воды в черной металлургии имеет важное природоохранное значение. Основными мероприятиями в этом направлении следует считать:

сокращение потребления воды в технологических процессах;

широкое внедрение для охлаждения элементов конструкций и оборудования испарительного охлаждения;

переход на сухие методы очистки газов и воздуха;

увеличение доли оборотного водоснабжения и повторного использования воды;

разработку безотходных технологий очистки сточных вод.

Освоение этих мероприятий позволит полностью прекратить сброс вод и значительно сократит потребление свежей воды.

## **5. Энергоснабжение в чёрной металлургии**

### **5.1. Назначение теплоэнергетического хозяйства**

Черная металлургия включает в себя три основных вида производств, так называемые металлургические переделы, и ряд производств, обеспечивающих эти переделы.

К металлургическим переделам относятся:

доменное производство (получение чугуна из железной руды и железосодержащих материалов путём восстановления окислов железа);

сталеплавильное производство (получение стали из чугуна и металлолома);

прокатное производство (получение проката из стальных слитков).

К обеспечивающим производствам относятся:

горнорудное и агломерационное производство (добыча руды, её обогащение, окомкование (производство окатышей) или спекание (производство агломерата);

коксохимическое производство (получение кокса из углей с улавливанием и использованием побочных химических продуктов);

огнеупорное производство;

ферросплавное производство (производство ферросплавов для выплавки специальных марок сталей и сплавов);

энергетическое хозяйство;

вспомогательные службы (транспорт, ремонтно-механические цехи и т.д.).

Назначение энергетического хозяйства промышленного предприятия, в том числе и металлургического завода, состоит в обеспечении различными видами энергии технологических процессов, вспомогательных цехов и бытовых нужд предприятия, а, в ряде случаев, и прилегающего к заводу жилого массива.

Основными энергоносителями в черной металлургии являются топливо, электроэнергия, вода, тепловая энергия в виде пара и горячей воды, сжатый воздух, кислород, инертные газы.

Всеми вопросами, связанными с энергетическим хозяйством и энергоносителями, ведает на предприятии служба главного энергетика. Во главе службы стоит главный энергетик, являющийся одним из заместителей главного

инженера предприятия. На металлургических предприятиях главный энергетик обычно имеет двух заместителей: один из них отвечает за электроэнергетику, другой – за теплоэнергетику.

## **5.2. Энергозатраты в металлургическом производстве**

С точки зрения энергетики важной особенностью металлургического производства является его большая энергоёмкость и разнообразие используемых энергетических ресурсов.

К примеру, для производства одной тонны проката с учетом предшествующих переделов расходуется до 1,5 тонны топлива, до 500 кВт·ч электроэнергии, свыше 12000 МДж тепловой энергии, до 300 тонн воды, до 2000 м<sup>3</sup> сжатого воздуха, до 90 м<sup>3</sup> кислорода. В себестоимости металлургической продукции энергозатраты составляют от 25 до 60%.

Доменное производство является основным потребителем энергоресурсов – до 50% всего топлива, потребляемого предприятием. Кроме того, в доменном производстве потребляется сжатый воздух (от 5 до 15% всего производства, без учета воздуха доменного дутья), электроэнергия, кислород, вода, тепловая энергия, инертные газы.

Сталеплавильное производство потребляет 6-7% всего топлива, электроэнергию, сжатый воздух (от 25 до 70% всего производства), кислород, воду.

Прокатное производство потребляет 10% всего топлива, электроэнергию, сжатый воздух (от 15 до 35% всего производства).

Агломерационное производство потребляет 6-7% всего топлива, электроэнергию, воду.

Коксохимическое производство потребляет 6-7% всего топлива, электроэнергию, воду.

Энергетическое хозяйство потребляет 15% всего топлива, электроэнергию, воду.

Черная металлургия не только потребляет значительное количество энергии, но также и производит её в виде вторичных энергоресурсов.



## 6. Энергоснабжение металлургического завода

### 6.1. Схема энергоснабжения металлургического завода

Как уже отмечалось, основными энергоносителями в черной металлургии являются топливо, электроэнергия, вода, тепловая энергия в виде пара и горячей воды, сжатый воздух, кислород, инертные газы.

Рассмотрим схему энергоснабжения металлургического завода (рис. 6.1).

Видно, что на завод извне поступают только топливо и электроэнергия. Тепловая энергия производится на заводе. За счёт приобретаемого топлива покрывается около 35% потребности металлургического завода в топливе. Из внешней сети металлургический завод потребляет до 80% необходимой ему электроэнергии. 65% топлива и 20% электроэнергии производится на предприятии, в том числе за счёт использования ВЭР.

Топливо расходуется на технологические нужды, на

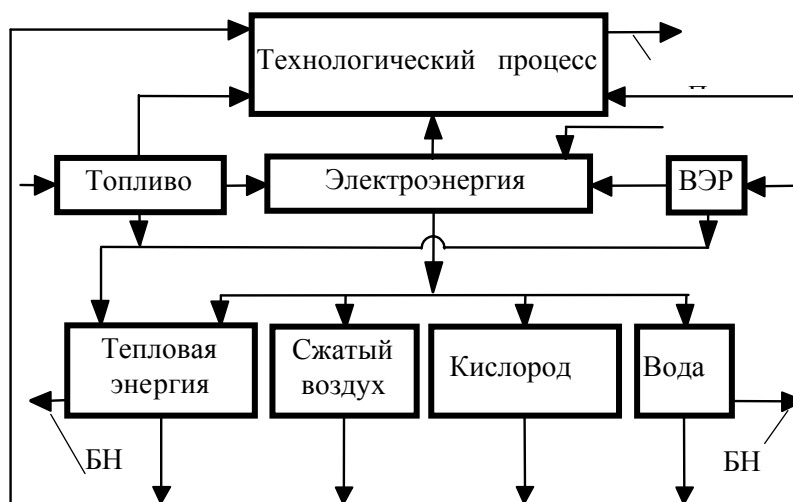


Рис. 6.1. Схема энергоснабжения металлургического завода

производство электроэнергии и тепловой энергии. Электроэнергия, поступающая на завод из внешней сети и производимая на заводе за счет топлива и ВЭР, используется в технологических процессах, а также для производства теплоты, сжатого воздуха, кислорода, подачи воды.

Пар и горячая вода, получаемые за счёт использования топлива и ВЭР, расходуются в технологических процессах и для бытовых нужд (БН).

Сжатый воздух и кислород, полученные за счёт электроэнергии, используются на технологические нужды завода. Для технологических, энергетических и бытовых нужд завода используется вода, подача которой осуществляется за счёт электроэнергии, расходуемой на привод насосов.

## 6.2. Топливо

Топливо обеспечивает около 80% потребности металлургии в энергии. Больше всего топлива необходимо для доменного производства.

Энергетическое топливо используется для получения физического тепла продуктов сгорания, технологическое топливо ещё и как восстановитель в технологических процессах. Из потребляемого топлива 45% составляет твёрдое топливо, 50% – газообразное и 5% – жидкое.

Основные виды топлива:

кокс – основное технологическое топливо, теплота сгорания 29 МДж/кг (около 7000 ккал/кг);

энергетический уголь – используется в агломерационном производстве и для получения пара в котлах (в основном, применяют уголь АШ – штыб антрацитовый);

мазут – жидкое топливо, продукт переработки нефти, теплота сгорания 40 МДж/кг (в основном, применяют мазут марок М40 и М100). Используется в технологических процессах с целью экономии кокса и природного газа, а в энергетическом хозяйстве – как резервное топливо;

доменный газ – образуется при выплавке чугуна, имеет низкую теплоту сгорания (3–5 МДж/м<sup>3</sup>), но является важной составляющей теплового баланса завода. Основные потребители – доменные воздухонагреватели (35%), энергетические котлы (30%), коксовые батареи, нагревательные печи;

коксовый газ – побочный продукт при производстве кокса. Имеет теплоту сгорания 17–18 МДж/м<sup>3</sup>. Используется для отопления нагревательных печей прокатных цехов, коксовых батарей (30%), сжигается в топках котлоагрегатов (20%);

природный газ – покупное топливо, на 95–99% состоит из метана (CH<sub>4</sub>). Высококалорийное топливо (теплота сго-

рования 35 МДж/м<sup>3</sup>). Основные потребители: доменные печи (30%), энергетические установки (15%), мартеновские печи и печи прокатных цехов (по 15%).

### **6.3. Электроэнергия**

Чёрная металлургия расходует около 15% производимой в стране электроэнергии. Из внешней сети металлургические заводы потребляют до 80% необходимой электроэнергии, остальное вырабатывается на заводских ТЭЦ-ПВС. Около 60% электроэнергии потребляется электроприводом, 25% расходуется на технологические нужды (электрофильтры, электропечи и т. д.), остальное – освещение, потери.

### **6.4. Тепловая энергия**

Теплота потребляется в виде водяного пара на технологические нужды (размораживание сыпучих грузов в зимний период, подогрев мазута при поступлении и расходовании, паровые прессы, молоты) и горячей воды для вентиляции, отопления и горячего водоснабжения. Пар производится в энергетических котлах (45%), котлах-утилизаторах (35%), поступает от теплофикационных турбин (20%). 40% теплоты потребляют технологические потребители, 60% идет на отопление, вентиляцию, коммунально-бытовые нужды.

### **6.5. Сжатый воздух**

Сжатый воздух используется в качестве дутья для доменных печей (производится на ТЭЦ-ПВС с помощью турбовоздуходувок с приводом от паровых турбин), а также для технологических нужд (производится на воздушных компрессорных станциях). Сжатый воздух, производимый на компрессорных станциях, используется для привода пневмомашин и пневмоинструмента, а также на технологические нужды в мартеновских (25-70%), прокатных (15-35%) и доменных цехах (5-15%).

### **6.6. Кислород**

Применяется для интенсификации металлургических процессов. Вырабатывается из атмосферного воздуха на кислородных станциях (в кислородных цехах). Основные по-

требители – доменное и сталеплавильное производство. Удельный расход электроэнергии на производство кислорода велик и, в зависимости от типа воздухоразделительной установки, колеблется в пределах 0,5–2,0 кВт ч на 1 м<sup>3</sup> кислорода.

## **6.7. Вода**

Металлургия потребляет значительное количество воды на охлаждение, очистку газов, выработку пара, транспортировку сыпучих материалов, хозяйственно-бытовые нужды. Качество и количество воды определяются, прежде всего, требованиями технологического процесса.

## **7. Тепловые электростанции и теплоснабжение металлургических заводов**

### **7.1. Конденсационные электростанции и теплоэлектроцентрали**

Тепловые электростанции различают по виду отпускаемой энергии. Так, конденсационные электростанции (КЭС) отпускают электрическую энергию, а теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) – электрическую энергию и тепловую энергию в виде пара и горячей воды. Тепловые электростанции металлургических заводов включают в себя установки по производству электрической и тепловой энергии, т.е. являются теплоэлектроцентралями, а также установки по производству сжатого воздуха для доменного дутья, т.е. являются одновременно и паровоздуходувными станциями (ПВС). Поэтому их называют ТЭЦ-ПВС. Тепловая энергия отпускается потребителю в виде пара из парогенератора или из отбора турбины, либо в виде горячей воды из бойлерных установок. Из всего топлива, поступающего на ТЭЦ-ПВС, 15–30% расходуется на выработку электроэнергии, 25–45% – на выработку теплоты и 40–50% – на выработку сжатого воздуха. Источниками теплоснабжения, помимо ТЭЦ, являются также паровые и водогрейные котельные.

Работает ТЭЦ следующим образом (рис. 7.1).

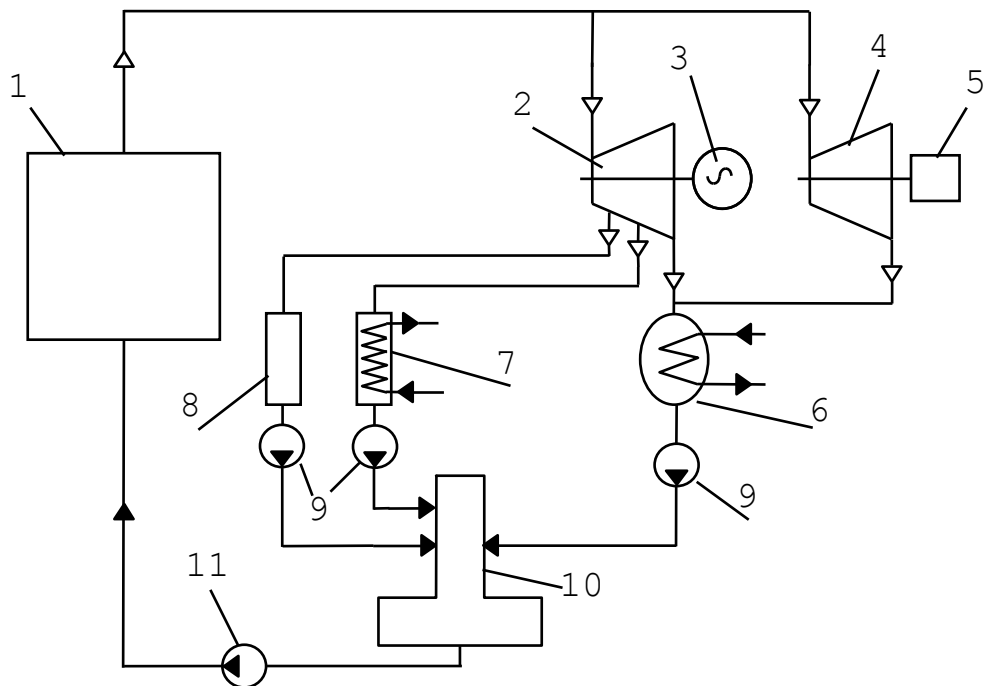


Рис. 7.1. Принципиальная тепловая схема ТЭЦ-ПВС  
 1-парогенератор; 2-турбина (привод электрогенератора); 3-электрогенератор; 4-турбина (привод нагнетателя воздуха); 5-нагнетатель воздуха; 6-конденсатор; 7-бойлер; 8-технологический потребитель пара; 9-конденсатный насос; 10-деаэратор; 11-питательный насос.

В парогенераторе (паровом котле) 1 за счёт горения топлива получают пар под давлением 4,5-10,0 МПа и температурой 400-500<sup>0</sup>С. Полученный пар поступает в турбины 2 и 4, приводящие во вращение, соответственно, электрогенератор 3 и нагнетатель воздуха 5. Из промежуточных отборов турбины 2 пар направляется в бойлерные установки 7 и к технологическим потребителям пара 8. Пар после последних ступеней турбин 2 и 4 поступает в конденсатор 6, где конденсируется и затем закачивается конденсатным насосом 9 в деаэратор 10. В деаэратор также поступает конденсат из бойлерной установки 7 и от технологических потребителей пара 8. В деаэраторе поддерживается температура, равная температуре кипения воды. Это необходимо для удаления из воды, питающей паровой котел, раство-

ренных в ней газов, которые образуют в соединении с водой слабо концентрированные кислоты и приводят к интенсивной коррозии металла труб котла. Вода подается в котел питательным насосом 11.

Помимо показанного на схеме оборудования, на ТЭЦ имеются механизированные склады твёрдого топлива, пылеприготовительная система, мазутное и газовое хозяйство, оборудование золоулавливания и золошлакоудаления, оборудование для подготовки питательной воды и очистки конденсата, поступающего от технологических установок, маслохозяйство, тягодутьевые установки.

### **7.2. Показатели работы ТЭЦ**

Основным показателем работы ТЭЦ является термический коэффициент полезного действия (к.п.д.), представляющий собой отношение полезно используемой теплоты (превращённой в механическую работу) к затраченной. На практике качество работы ТЭЦ оценивают отдельно по выработке электроэнергии и по выработке тепловой энергии. Экономичность работы ТЭЦ можно оценивать по расходу условного топлива на единицу выработанной энергии или теплоты (порядка 0,3 кг/кВт·ч).

### **7.3. Топливо, используемое на ТЭЦ**

В качестве топлива на ТЭЦ используют доменный, коксовый и природный газ, антрацитовый штыб (АШ). Твёрдое топливо поступает к котлу через систему пылеприготовления, а газообразное топливо всех видов подводится по трубопроводам раздельными потоками. Образующиеся зола и шлак улавливаются и подаются на золоотвалы с помощью пневматических, гидравлических или пневмогидравлических систем золоудаления.

### **7.4. Водоподготовка**

На ТЭЦ используется большое количество воды для конденсации отработавшего пара, выработки пара в котлах, транспортирования золы и шлака, очистки дымовых газов, охлаждения масла, воздуха, подшипников, на хозяйственно-бытовые нужды.

Природная вода без специальной обработки не может быть использована для водоснабжения теплоэнергетическо-

го оборудования из-за растворенных в ней солей и газов. Соли, попавшие в котёл, образуют отложения в виде накипи на внутренней поверхности труб и в проточной части турбины, что ухудшает теплообмен и снижает показатели работы котла, а иногда приводит к прогару труб, газы вызывают коррозию металла.

Для удаления из воды вредных примесей используют специальные методы водоподготовки:

метод осветления воды (отстаивание, фильтрация, коагуляция);

метод осаждения (образование труднорастворимых соединений, выпадающих в осадок);

магнитный метод (магнитная обработка воды с целью извлечения магнитных включений и ускорения отстаивания);

метод ионного обмена (перевод солей в вещества, не образующие накипь).

Для удаления растворённых газов используют термическую деаэрацию воды (нагрев воды до кипения при пониженном давлении).

### **7.5. ТЭЦ как источник теплоснабжения**

Теплота в виде горячей воды потребляется устройствами отопления и вентиляции, горячего водоснабжения и кондиционирования воздуха. Теплота в виде пара потребляется подогревателями газообразных, жидких и твёрдых веществ, выпарными и сушильными аппаратами, паровыми молотами и прессами, ковочными машинами. Они используют пар давлением 0,3–1,0 МПа и температурой 200–250 °С.

Воду для систем теплоснабжения подогревают в пароводяных теплообменных аппаратах, именуемых бойлерами. Это, как правило, теплообменные аппараты поверхностного типа (теплообмен через разделительную поверхность), в которых по трубам проходит нагреваемая вода, а между трубами – греющий пар.

Системы парового теплоснабжения получают пар из отборов паровых турбин либо из редукционно-охладительных установок (РОУ). В РОУ давление пара снижается в результате его дросселирования, а температура – за счёт впрыскивания в пар воды.

## **8. Котельные и турбинные установки**

### **8.1. Схема котельного агрегата**

Котельная установка (парогенератор) служит для получения пара в широком диапазоне параметров и состоит из котельного агрегата и вспомогательного оборудования, связанных единой технологической схемой. К вспомогательному оборудованию котельной установки относятся устройства топливоподачи, дымососы, вентиляторы, золоуловители, паропроводы, водопроводы и др.

Схема парового котла П-образной компоновки с естественной циркуляцией представлена на рис.8.1.

Паровой котел состоит из подъемного 1 и опускного 2 газоходов. В нижней части подъемного газохода 1 расположена топка для сжигания топлива, на стенках газохода установлены испарительные поверхности нагрева 3 в виде плоских трубчатых панелей, называемых экранами. В опускном газоходе размещены водяной экономайзер 4 для подогрева питательной воды и воздухоподогреватель 5 для подогрева воздуха, идущего на горение в топку. На выходе из подъемного газохода находится фестон 6, представляющий собой разреженный пучок труб – продолжение заднего экрана. В горизонтальной части газохода расположен пароперегреватель 7, обеспечивающий перегрев пара до заданной температуры. Испарительные поверхности 3 соединены с барабаном 8 котла и вместе с опускными трубами 9, связывающими барабан с нижними коллекторами 10 экранов, составляют циркуляционные контуры. Пароводяная смесь в барабане разделяется на насыщенный пар и воду, пар направляется в пароперегреватель, вода – снова в циркуляционные контуры. Одновременно в барабане для снижения общего солесодержания происходит отделение и удаление (продувка) части воды с высокой концентрацией солей. Циркуляция воды и пароводяной смеси в контурах происходит за счёт разности плотностей столба воды в опускных трубах и пароводяной смеси в подъемных трубах – экранах (естественная циркуляция).

Топливо вместе с нагретым воздухом через горелки 11 подается в топку, где сжигается. Продукты сгорания из топки направляются в пароперегреватель, экономайзер, воздухоподогреватель и через газоочистку удаляются в





вого тракта снижается, ориентировочные значения температур приведены на рисунке.

Существуют различные конструктивные варианты оформления котельных агрегатов. Так, сжигание топлива может осуществляться не в факеле, а в слое. Циркуляция воды и пароводяной смеси в испарительной системе котла может быть принудительной с помощью насосов. Водяной экономайзер и воздухоподогреватель могут располагаться в несколько ступеней и т.д.

## 8.2. Тепловой баланс котельного агрегата

Тепловой баланс котельного агрегата составляют на 1 кг твёрдого или жидкого топлива или на 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива.

Расходная часть теплового баланса котла содержит теплоту выработанного пара и различные потери.

$$Q_{\text{расх}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{ух}(1)} + Q_{\text{х.н.}(2)} + Q_{\text{м.н.}(3)} + Q_{\text{н.о.}(4)} + Q_{\text{ф.ш.}(5)},$$

где  $Q_{\text{пол}}$  - теплота (полезная), затраченная на выработку пара;

$Q_{\text{ух}(1)}$  - потери теплоты с уходящими газами. Это основные потери, составляющие 5-12% при температуре уходящих газов 120-180<sup>0</sup>С;

$Q_{\text{х.н.}(2)}$  - потери теплоты от химического недожога - 0-2%. Их снижение возможно при повышении температуры горения и улучшении перемешивания компонентов горения;

$Q_{\text{м.н.}(3)}$  - потери теплоты от механической неполноты сгорания - 2-3% при хорошей организации процесса, 9-10% при сжигании твердого топлива и плохой организации процесса сжигания;

$Q_{\text{н.о.}(4)}$  - потери теплоты от наружного охлаждения (во внешнюю среду) - 1-2%;

$Q_{\text{ф.ш.}(5)}$  - потери с физическим теплом шлаков. Для топок с жидким шлакоудалением - 1-2%, с сухим шлакоудалением 0,2-0,3%.

### 8.3. Топочные устройства котлов

Топочные устройства котлов могут быть слоевые – для сжигания крупнокускового топлива и камерные – для сжи-

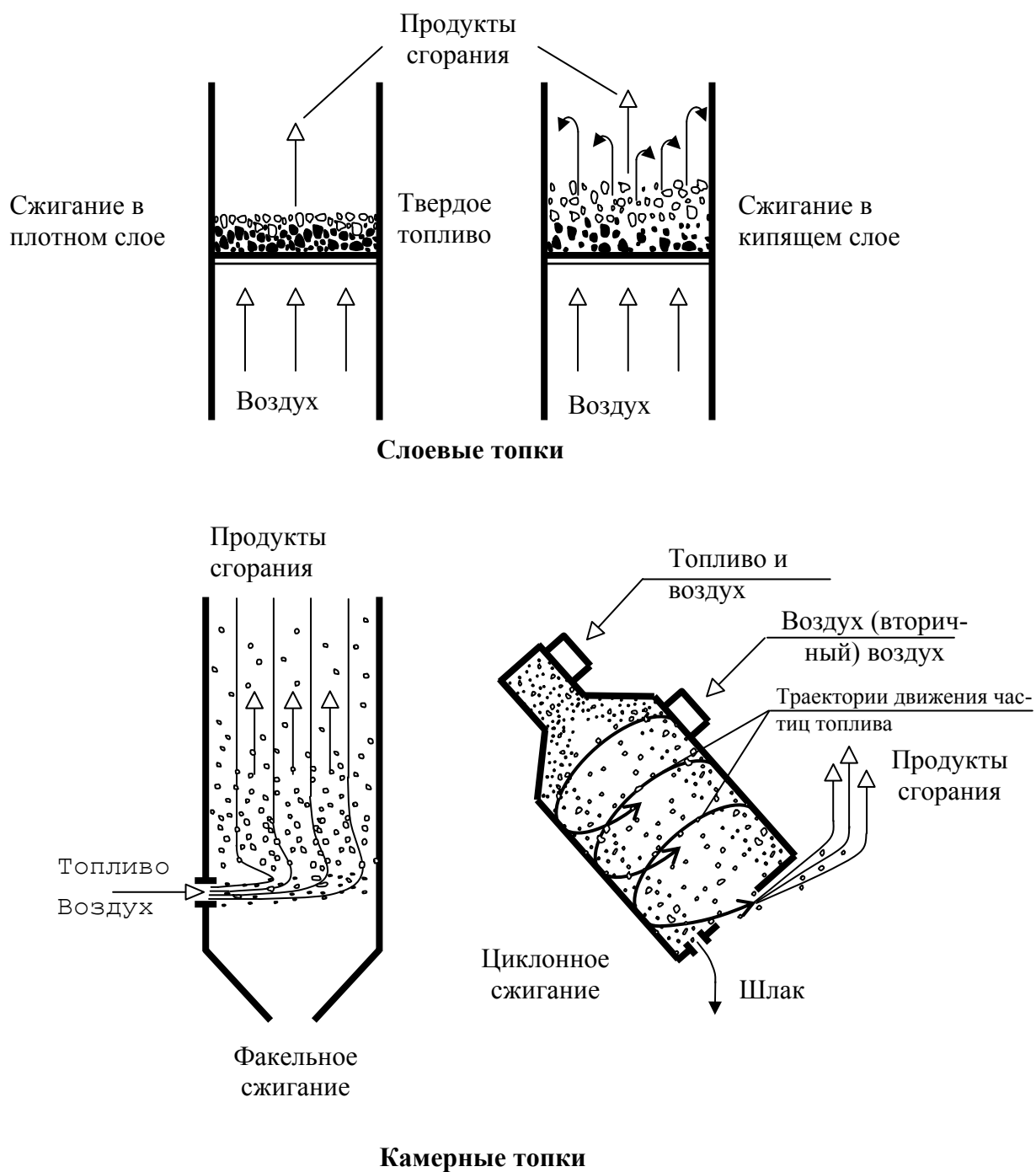


Рис. 8.2. Схемы организации топочных процессов

гания газообразного, жидкого и твёрдого пылевидного топлива.

Некоторые из вариантов организации топочных процессов представлены на рис.8.2.

Слоевые топки бывают с плотным и кипящим слоем, камерные подразделяются на факельные и циклонные.

При сжигании в плотном слое воздух для горения проходит через слой, не нарушая его устойчивости, т.е. сила тяжести частиц топлива больше динамического напора воздуха.

При сжигании в кипящем слое из-за повышенной скорости воздуха нарушается устойчивость частиц в слое, они переходят в состояние «кипения», т.е. переходят во взвешенное состояние. При этом происходит интенсивное перемешивание топлива и окислителя, что способствует интенсификации процесса горения.

При факельном сжигании топливо сгорает в объёме топочной камеры, для чего частицы твердого топлива должны иметь размер до 100 мкм.

При циклонном сжигании частицы топлива под влиянием центробежных сил отбрасываются на стенки топочной камеры и, находясь в закрученном потоке в зоне высоких температур, полностью выгорают. Допускается размер частиц больший, чем при факельном сжигании. Минеральная составляющая топлива в виде жидкого шлака удаляется из циклонной топки непрерывно.

#### **8.4. Организация движения воды и пароводяной смеси**

В зависимости от организации движения воды и пароводяной смеси по испарительной системе котлы бывают с естественной и принудительной циркуляцией.

Принципиальные схемы движения рабочего тела в котлах представлены на рис.8.3. В котлах с естественной циркуляцией движение воды и пароводяной смеси осуществляется по замкнутому контуру: барабан 3 котла – опускные трубы 2 – коллектор 4 – подъёмные трубы 1 – барабан 3 котла. Это происходит за счёт разности плотности воды в опускных трубах и пароводяной смеси в подъёмных трубах. При этом за один ход воды по циркуляционному контуру она только частично превращается в пар. Отношение массы воды, циркулирующей в системе за единицу времени, к массе

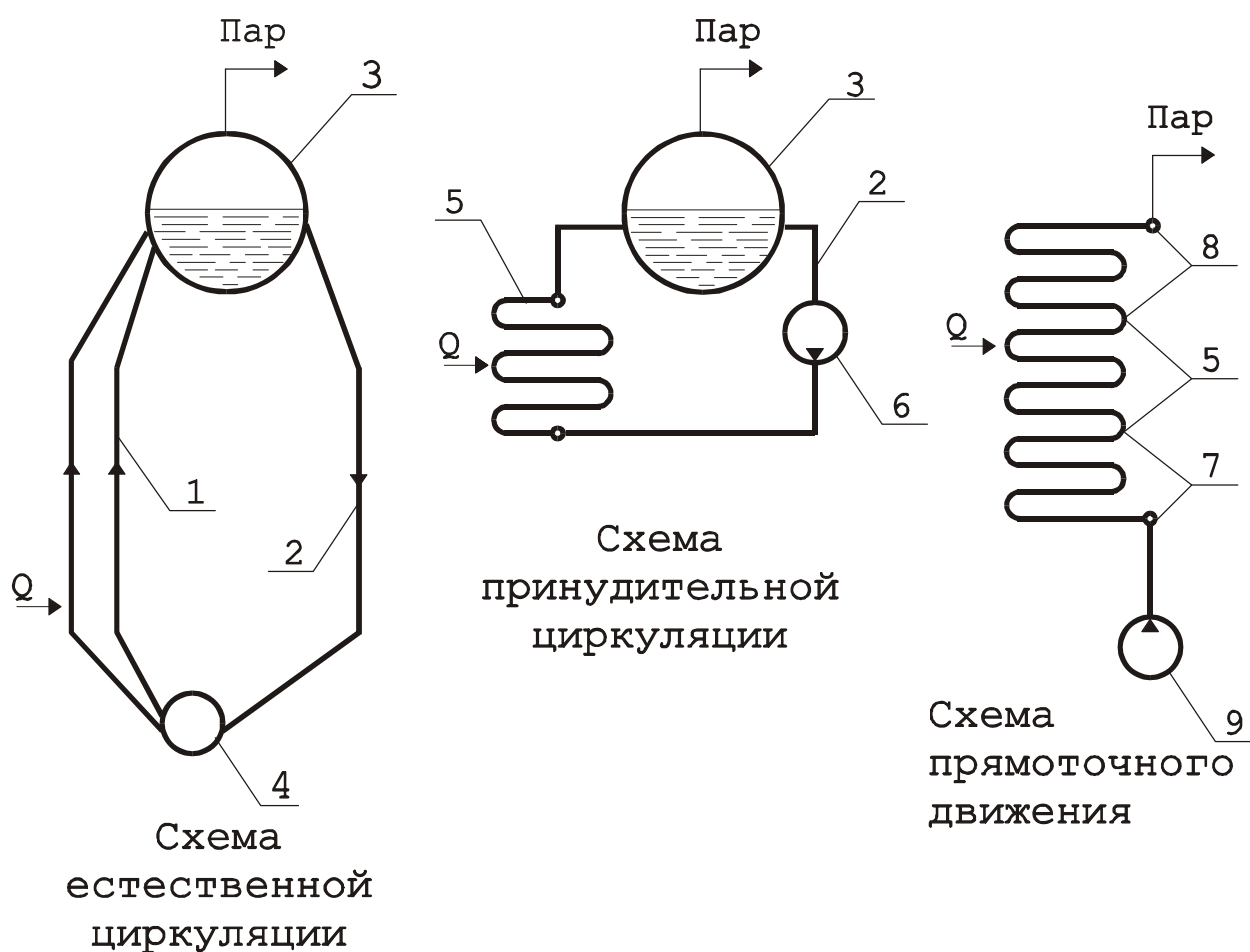


Рис. 8.3. Принципиальные схемы движения рабочего тела в котлах

1-подъёмные трубы; 2-опускные трубы; 3-ба-  
рабан; 4-коллектор; 5-испарительная сис-  
тема; 6-циркуляционный насос; 7-водяной  
экономайзер; 8-пароперегреватель; 9-пита-  
тельный насос

вырабатываемого пара за то же время называется кратно-  
стью циркуляции. Для котлов с естественной циркуляцией  
она равна 15-100.

Котельные агрегаты с многократной принудительной  
циркуляцией имеют специальный насос 6, обеспечивающий  
циркуляцию воды и пароводяной смеси в испарительной  
системе 5 котла. Кратность циркуляции 6-10. Прямоточные  
котельные агрегаты, имеющие кратность циркуляции, рав-  
ную 1, оборудованы параллельно соединёнными трубами,  
составляющими поверхности нагрева котла. За счёт энер-

тии питательного насоса 9 вода проходит отдельные участки труб, исполняющие роль водяного экономайзера 7, испарительных поверхностей нагрева 5 и пароперегревателя 8. В этих котлах к качеству питательной воды предъявляются более высокие требования, чем в других типах котлов, так как удаление солей из воды в котле невозможно.

### 8.5. Турбинные установки

Турбинные установки предназначены для преобразования энергии рабочего тела (пара, газа), имеющего высокое давление и температуру, в механическую энергию вращения ротора турбины. Турбины используют в качестве привода электрогенераторов, турбокомпрессоров, воздуходувок, крупных насосов.

В паровой турбине рабочий процесс осуществляется следующим образом (рис.8.4). Водяной пар с высоким давлением и температурой поступает в сопло 1, при истечении из которого его давление снижается, а кинетическая

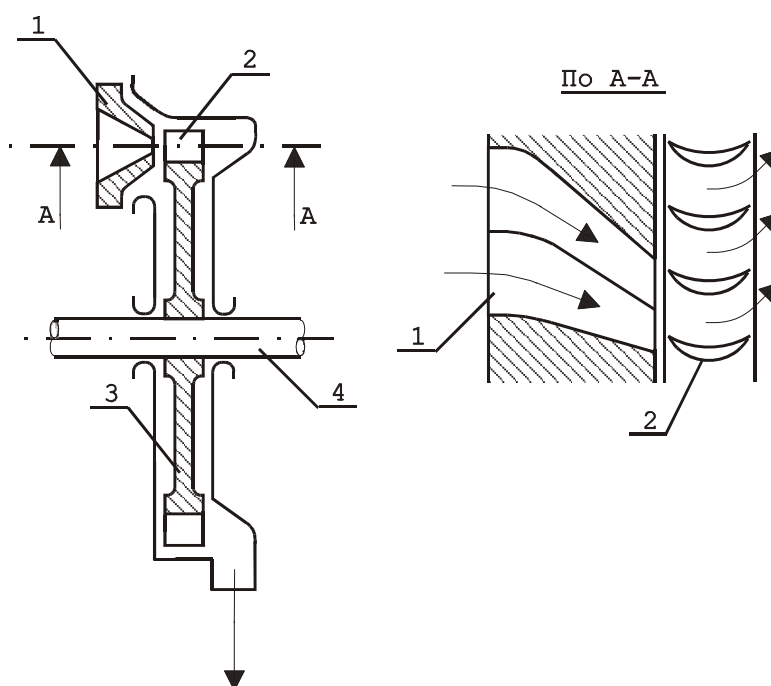


Рис. 8.4. Схема одноступенчатой турбины активного типа  
1-сопло; 2-лопатки; 3-диск ротора; 4-вал ротора

энергия увеличивается. Струя пара направляется на закреплённые на диске 3 ротора турбины лопатки 2, отдавая им часть своей кинетической энергии, которая через лопатки передаётся вращающемуся ротору.

Обычно турбина имеет несколько сопел, составляющих сопловой аппарат. Рабочие лопатки расположены по всей окружности диска и образуют рабочую решётку. Сопловой аппарат и рабочая решётка составляют ступень турбины, а каналы для прохода газа – проточную часть турбины.

Турбины бывают одноступенчатые и многоступенчатые, активного и реактивного типов, конденсационные, теплофикационные и противодавленческие.

В активных турбинах процесс расширения пара происходит только в соплах, а в реактивных – в соплах и в каналах рабочих лопаток. В основном производят комбинированные турбины.

Конденсационная и противодавленческая турбины используются в качестве привода к электрогенераторам, турбовоздуходувкам и другим машинам. Отработавший в противодавленческой турбине пар поступает в конденсационную турбину, отработавший в конденсационной турбине пар поступает в конденсатор, где превращается в воду (конденсат).

Теплофикационная турбина отдает весь отработавший в турбине пар потребителю теплоты.

В теплофикационной турбине с отборами пара часть пара, не доработавшая до давления в конденсаторе, отбирается из промежуточных ступеней турбины потребителю; при этом оставшаяся часть пара проходит через все ступени турбины в конденсатор.

## **9. Производство сжатого воздуха**

### **9.1. Использование, получение и транспортирование сжатого воздуха**

Сжатый воздух используют для дутья в доменные печи, для работы пневматических машин и пневмоинструмента, для сжигания топлива в обжиговых, нагревательных и термических печах.

Для дутья в доменные печи необходим воздух давлением 0,3–0,4 МПа, он вырабатывается на паровоздуходувных

станциях ПВС, совмещенных с ТЭЦ (ТЭЦ-ПВС). Воздуходувные станции оборудованы многоступенчатыми центробежными воздуходувными машинами. Количество ступеней определяется величиной требуемого давления. Основной тип привода доменных воздуходувок – паровая турбина. Турбины, используемые для этих целей, работают на паре давлением 3,5 МПа или 9 МПа с температурой, соответственно, 435<sup>0</sup>С или 535<sup>0</sup>С. Иногда применяют приводы других типов. Перед подачей в доменную печь воздух после сжатия нагревают до температуры около 1000<sup>0</sup>С в доменных воздухонагревателях (кауперах).

Для привода пневмомашин и пневмоинструмента используют воздух давлением 0,6–1,0 МПа. Сжатый воздух таких давлений получают централизованно на компрессорных станциях с помощью поршневых и центробежных компрессоров. Центробежные компрессоры предпочтительней, так как обеспечивают непрерывную подачу газа, надёжны и просты в обслуживании, не загрязняют сжатый воздух маслом. Поршневые компрессоры обеспечивают большую степень сжатия газа при одинаковых габаритах с центробежными компрессорами, но имеют меньшую производительность и менее надёжны.

Для сжигания топлива в обжиговых, нагревательных и термических печах используют сжатый воздух давлением 0,003–0,01 МПа, подаваемый центробежными нагнетателями (вентиляторами), устанавливаемыми в непосредственной близости от потребителя.

Сжатый воздух к потребителям транспортируют с помощью развитой сети воздухопроводов, с воздуходувной и компрессорной станций раздельно. Воздухопроводы к доменной печи теплоизолированы, так как температура воздуха после сжатия повышается до 200<sup>0</sup>С. Эти воздухопроводы имеют диаметры, достигающие 1500 мм.

Общее требование для сжатого воздуха – отсутствие механических примесей, влаги, паров масла. Очистка от механических примесей осуществляется с помощью фильтров, а от влаги и паров масла – путём охлаждения сжатого воздуха. Однако при этом не вся влага конденсируется, и её наличие в трубопроводах может привести к образованию ледяных пробок.



Получение сжатого воздуха требует значительных затрат. Так, например, стоимость доменного дутья составляет около 30% стоимости чугуна.

## **9.2. Компрессорные машины**

Применяемые для получения сжатого воздуха компрессорные машины можно подразделить

по степени повышения давления на:

- вентиляторы (степень повышения давления 1,15);
- компрессоры (степень повышения давления превышает 1,15) ;

по принципу действия на:

- объёмные (поршневые и роторные);
- лопастные (центробежные и осевые);
- струйные.

На металлургических заводах находят применение, в основном, центробежные и поршневые компрессорные машины.

Компрессорная установка состоит из компрессора с двигателем, маслоотделителя, газосборника (ресивера), охладителя, предохранительного клапана и контрольно-измерительной аппаратуры.

Поршневые компрессорные машины классифицируют

по давлению:

- низкого (до 0,25 МПа);
- среднего (0,25-10 МПа);
- высокого (более 10 МПа) давления;

по производительности:

- малой производительности (менее 160 м<sup>3</sup>/ч);
- средней производительности (160 - 4000 м<sup>3</sup>/ч);
- высокой производительности (более 4000 м<sup>3</sup>/ч);

по способу действия: простого и двойного действия;

по положению цилиндров: с горизонтальным и вертикальным положением цилиндров;

по числу ступеней: одно- и многоступенчатые;

по способу охлаждения: с воздушным и водяным охлаждением;

по назначению: для сжатия воздуха, кислорода, других газов.

Центробежные компрессорные машины работают в широком диапазоне давлений. Для получения давлений, больших 15 кПа, применяют многоступенчатые компрессоры.

В центробежных компрессорных машинах сжимаемый воздух движется по направлению от оси к периферии колеса, а у осевого компрессора – вдоль оси.

## **10. Очистка промышленных газов**

### **10.1. Черная металлургия как источник загрязнения окружающей среды**

Металлургический завод, производящий 1 млн.т. стали в год, за сутки выбрасывает в атмосферу 350 т пыли, 400 т окиси углерода и 200 т двуокиси серы. От общего количества выбросов на долю металлургических заводов приходится 20% выбросов пыли, 43% окиси углерода, 16% сернистого ангидрида и 23% окислов азота. Больше всего выбросов у аглофабрики и ТЭЦ. От общего количества выбросов аглофабрика даёт 34% пыли, 82% сернистого ангидрида, 23% окислов азота. ТЭЦ выбрасывает 36% пыли. Таким образом, аглофабрика и ТЭЦ вместе выбрасывают в атмосферу около 70% общезаводских выбросов пыли.

Различают очистку газов от взвешенных твёрдых частиц (пыли) и улавливание вредных газообразных веществ химическими методами газоочистки. В настоящее время очистка выбрасываемых в атмосферу газов от вредных газообразных веществ почти не применяется, за исключением коксохимического производства, где такая очистка широко распространена в связи с необходимостью улавливания ряда ценных веществ.

На заводах чёрной металлургии, главным образом, осуществляют механическую очистку газов от пыли. По принципу действия применяемые методы очистки делят на сухие и мокрые. Мокрые пылеуловители позволяют одновременно с улавливанием пыли частично очищать газы от диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ). Однако эти пылеуловители потребляют значительные количества воды, которую затем требуется очищать.

### **10.2. Аппараты для сухой механической очистки газов**

Эти аппараты делятся на *пылеуловители и фильтры*. В свою очередь, пылеуловители подразделяются на гравитационные и инерционные. Гравитационные пылеуловители имеют пылевые камеры различной конструкции, в которых

осаждение пыли происходит, в основном, под действием сил тяжести. Силы инерции здесь оказывают незначитель-

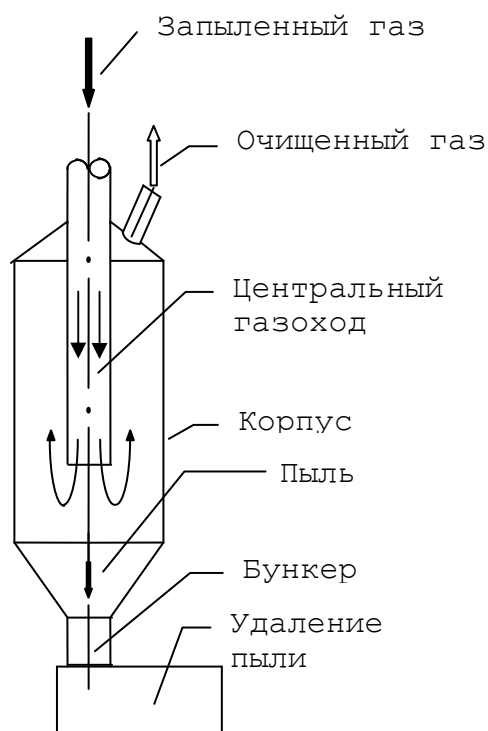


Рис. 10.1. Схема радиального пылеуловителя

ное влияние на процесс извлечения пыли из потока газа.

На рис. 10.1 приведена схема радиального пылеуловителя.

Через центральный газопровод поступает запыленный газ, который в корпусе пылеуловителя снижает скорость своего движения и меняет направление движения на  $180^0$ . Пыль, содержащаяся в газе, под действием сил тяжести и по инерции, оседает в бункер, а газ удаляется в очищенном виде. Гравитационные пылеуловители эффективны при удалении частиц пыли с размерами, большими 100 мкм, т.е. достаточно крупных частиц. Они обеспечивают грубую очистку газа, улавливая до 60% пыли.

В инерционных (центробежных) пылеуловителях на частицы пыли действует сила инерции, возникающая при повороте или вращении газового потока. Так как эта сила значительно превосходит гравитационную, то и удаляются из газового потока частицы более мелкие, чем при гравитационной очистке. Пример такого пылеуловителя – циклон (рис. 10.2). В циклоне из газового потока удаляются

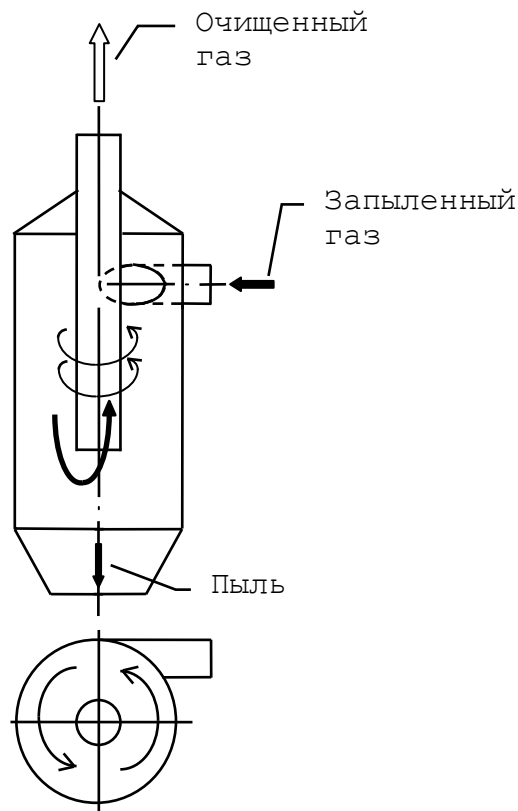


Рис. 10.2. Схема циклона

частицы пыли с размерами, большими 20 мкм. Запыленный газовый поток вводится в верхнюю часть корпуса циклона через патрубок, расположенный тангенциально относительно корпуса. Поток приобретает вращательное движение, частицы пыли силами инерции отбрасываются к стенкам циклона и под действием сил тяжести опускаются в бункер, а очищенный газ удаляется из циклона. Улавливается до 95% пыли.

Фильтры – это аппараты, обеспечивающие тонкую очистку газа (улавливается до 99% пыли). По типу фильтрующего элемента они подразделяются на фильтры с волокнистым, тканевым, зернистым, металлокерамическим, керамическим фильтрующим элементом. Типичным примером являются фильтры с тканевым фильтрующим элементом: из натуральных и синтетических тканей или металлотканый, выдерживающий температуру до 6000С (рис. 10.3). Запыленный газ проходит через рукавную ткань, оставляя на ней частички пыли, и очищенный удаляется из фильтра. Пыль осе-

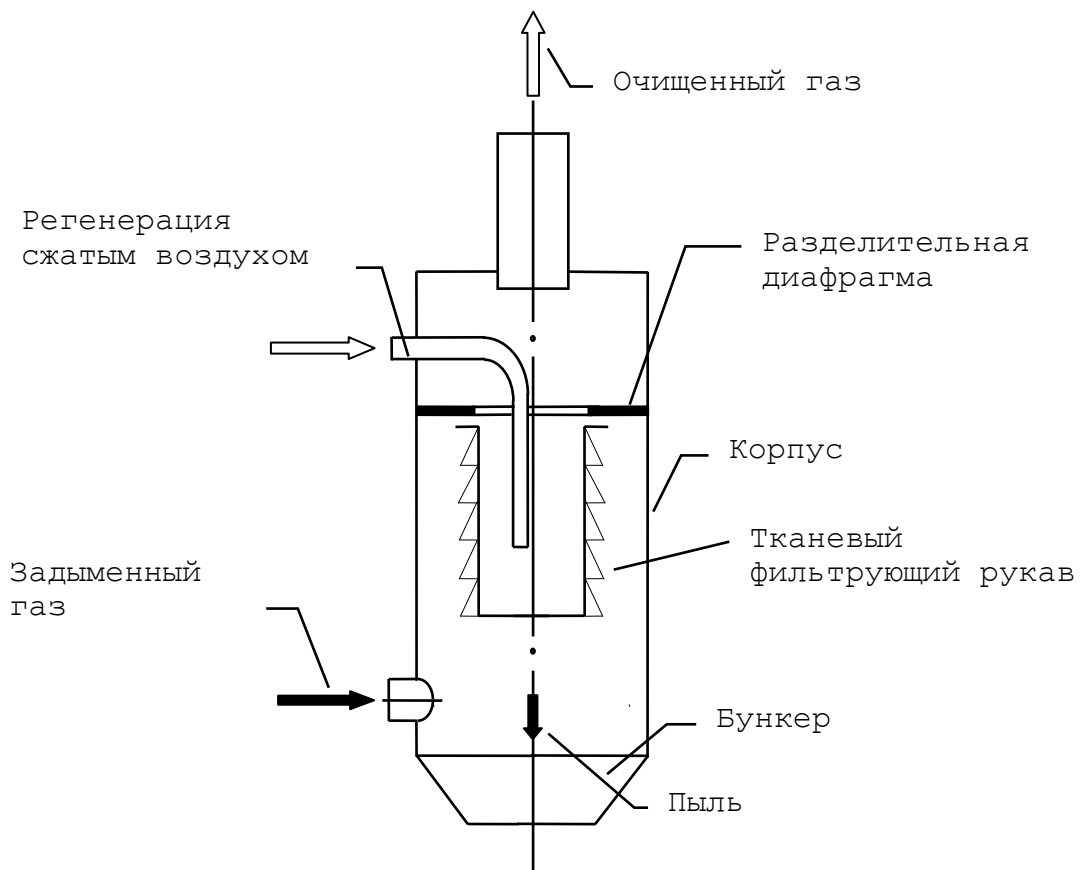


Рис. 10.3. Фильтр тканевый

дает в бункер по мере её накопления на ткани. Когда сопротивление ткани существенно возрастает, регенерация тканевого фильтра осуществляется обратной продувкой сжатым воздухом. При этом тканевый рукав очищается от пыли.

### 10.3. Электрофильтры

Электрофильтры – это аппараты для тонкой очистки газа (удаляется 98% пыли). Их принцип действия основан на силовом взаимодействии заряженных частиц между собой и с металлическими электродами. Известно, что одноимённо заряженные частицы отталкиваются, а разноименно заряженные – притягиваются. В электрофильтре частицы пыли, попадая в электрическое поле, заряжаются, а затем под действием сил взаимодействия с осадительными электродами притягиваются к ним, осаждаются на них и теряют свой заряд.

В качестве примера рассмотрим работу трубчатого электрофильтра (рис. 10.4).

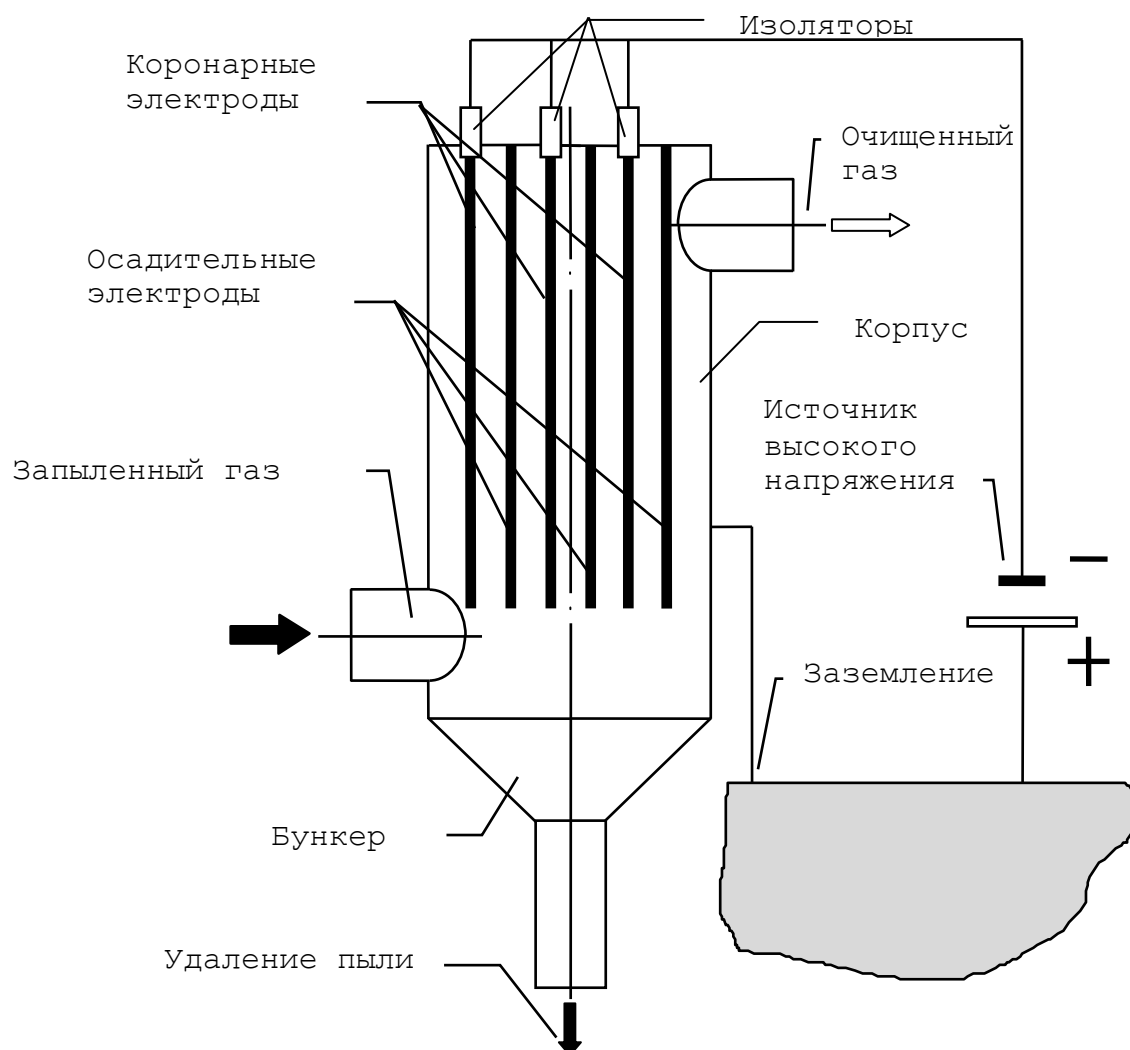


Рис. 10.4. Схема электрофильтра

Фильтр состоит из корпуса и системы электродов. Корпус фильтра заземляется. Электроды представляют собой металлические пластины, часть из которых (осадительные электроды) подсоединена к корпусу, а другая часть (коронарные электроды) – изолирована от него. Изолированные и подсоединённые к корпусу электроды чередуются. Между ними с помощью источника постоянного тока высокого напряжения создаётся разность потенциалов порядка 25–100 кВ. Величина разности потенциалов определяется геометрией электродов и тем больше, чем больше расстояние между ними. Это связано с тем, что электрофильтр работа-

ет, если между электродами существует коронный разряд. Газ, проходя между электродами, ионизируется. Частицы пыли взаимодействуют с ионами, приобретают отрицательный заряд и притягиваются к осадительным электродам, соединенным с положительным полюсом источника напряжения. Осаждаясь на электродах, частицы пыли теряют свой заряд и частично осыпаются в бункер. Производится периодическая очистка фильтра встряхиванием или промывкой, на время очистки фильтр отключается.

При работе на доменном газе фильтр промывают через каждые 8 часов в течение 15 минут. Максимальная температура очищаемого газа не должна превышать  $300^{\circ}\text{C}$ , рабочая температура до  $250^{\circ}\text{C}$ . Высота электродов до 12м.

Электрофильтр очищает газ от частиц пыли с размерами до 0,1 мкм.

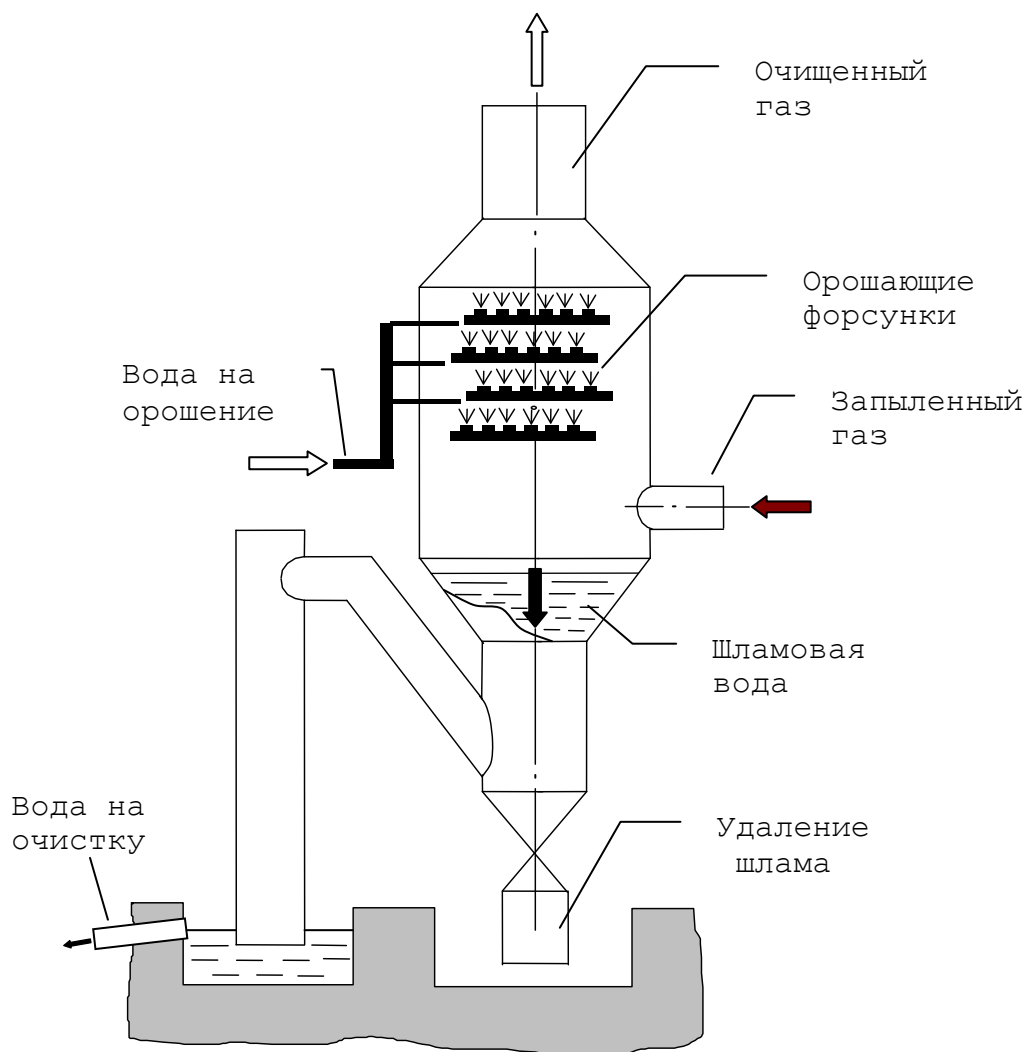


Рис. 10.5. Схема скруббера

#### 10.4. Мокрая очистка газов

В аппаратах мокрой очистки запыленный газ промывается водой, что позволяет отделить значительную часть пыли.

Наибольшее применение в чёрной металлургии нашли скрубберы различной конструкции (рис. 10.5) и турбулентные газопромыватели (рис. 10.6).

Скрубберы – это агрегаты, в которых запыленный газ поднимается навстречу орошающей воде. С целью защиты от коррозии внутреннюю поверхность скруббера футеруют керамической плиткой. Максимальная температура газа в скруббере  $300^{\circ}\text{C}$ . Размеры скруббера: диаметр – 6–8 м, высота – 20–30 м. Расход воды –  $1\text{--}2\text{ кг/м}^3$  газа. В скрубберах осуществляется полутонкая очистка от пыли (улавливается до 80% пыли).

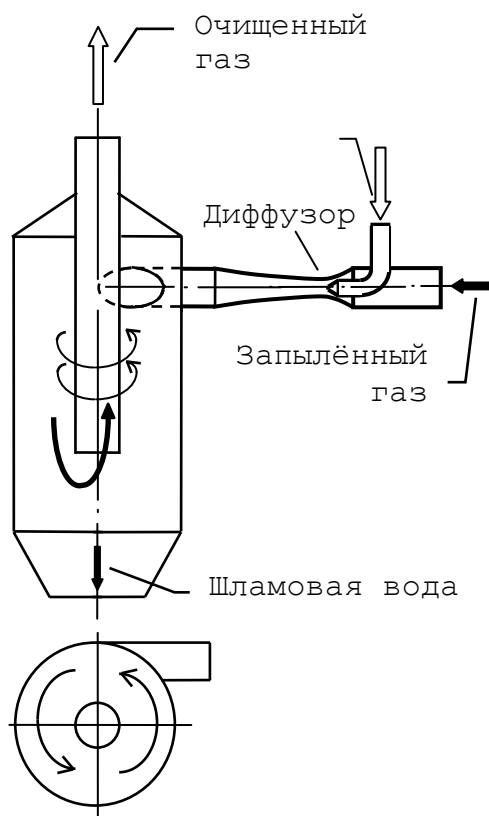


Рис. 10.6. Схема скоростного газопромывателя



Скоростной газопромыватель – эффективный аппарат тонкой очистки (улавливается до 98% пыли), применяемый как самостоятельно, так и для подготовки газа перед электрофильтром. Состоит из трубы-распылителя и циклона каплеуловителя. Улавливает частицы пыли размерами до 0,1 мкм. Производительность по газу 40000 м<sup>3</sup>/ч и более. Удельный расход орошающей воды 0,15–0,5 кг/м<sup>3</sup> газа. Скорость газа в горловине трубы-распылителя 40–150 м/с.

Принцип действия скоростного газопромывателя основан на улавливании в циклоне мелких частиц пыли, утяжелённых смачивающей их водой. Смачивание частиц пыли осуществляется в трубе-распылителе.

В заключение следует отметить, что пыль с частицами крупнее 10–20 мкм хорошо улавливается в большинстве аппаратов газоочистки. Для очистки от пыли с частицами, меньшими 1 мкм, пригодны только аппараты тонкой очистки: пористые фильтры, электрофильтры, скоростные газопромыватели.

## **11. Водоснабжение предприятий и очистка сточных вод**

### **11.1. Водоснабжение металлургических заводов**

Система водоснабжения включает комплекс сооружений и устройств для забора воды из источника водоснабжения, её очистки, хранения, подачи и распределения между потребителями. На металлургических заводах применяют прямоточное, последовательное и обратное водоснабжение. Поэтому имеются водоводы свежей технической воды, обратной или повторно используемой воды, производственного (технического) водоснабжения, снабжения питьевой водой и пожарного водоснабжения (объединенного с производственным или питьевым водоснабжением).

При прямоточном водоснабжении отработанная вода после очистки и охлаждения сбрасывается в водоём, из которого была взята.

Последовательное водоснабжение предусматривает повторное использование воды рядом потребителей с учетом их требований к качеству воды.

В обратных циклах водоснабжения вода подвергается очистке от взвешенных в ней веществ и охлаждению и

снова используется. Свежая вода потребляется только для компенсации потерь, составляющих порядка 5% от количества воды, находящейся в обороте. Очистка воды производится в отстойниках или гидроциклонах, а также аппаратах тонкой очистки (фильтрах), охлаждение – в прудах охладителях, брызгальных бассейнах, в башенных и вентиляторных градирнях.

### **11.2. Охлаждение воды в системах оборотного водоснабжения**

Тип и размеры охладителей воды принимают в зависимости от требуемого расхода воды, расчётной температуры охлаждения, требований технологического процесса и ряда других факторов.

Пруды охладители и брызгальные бассейны применяют при невысоких требованиях к охлаждению воды: разница температур охлаждаемой и охлаждённой воды не более 5–10<sup>0</sup>С.

В системах оборотного водоснабжения, требующих устойчивого охлаждения воды, применяют башенные градирни с капельными или плёночными оросителями. Движение охлаждающего воздуха навстречу охлаждаемой воде из оросителей в градирнях башенного типа происходит за счёт естественной тяги, разница температур охлаждаемой и охлаждённой воды не более 5–12<sup>0</sup>С.

Вентиляторные градирни применяют при необходимости устойчивого и глубокого охлаждения воды. Отличаются вентиляторные градирни от башенных отсутствием вытяжных башен. Движение охлаждающего воздуха навстречу охлаждаемой воде организуется с помощью вентиляторов. В градирнях этого типа разница температур охлаждаемой и охлаждённой воды составляет 10–15<sup>0</sup>С. В вентиляторных градирнях осуществляется автоматическое поддержание температуры охлаждённой воды на заданном уровне путём изменения производительности вентиляторов.

### **11.3. Подача воды потребителям**

Свободный напор воды у абонента, складывающийся из геометрической высоты подачи воды, потерь напора в сети водопровода и остаточного напора на излив воды, колеб-

лется от 0,13–0,2 МПа на ТЭЦ–ПВС до 2 МПа на охлаждении кислородных фурм.

Количество подаваемой на металлургический завод свежей технической воды складывается из суммы всех безвозвратных потерь воды и количества сбрасываемых в водоёмы сточных вод. Безвозвратные потери воды имеют место в процессе производства, в охладительных устройствах, за счёт фильтрации через грунт, а также со шламом.

Подача воды потребителям осуществляется насосными станциями, которые на металлургических заводах делят на три категории.

К первой категории относятся насосные станции (или группы насосов), подающие свежую воду, воду для нужд пожаротушения и основным потребителям: на охлаждение высокотемпературных агрегатов (доменные и сталеплавильные печи), на ТЭЦ–ПВС, газоочисткам доменных и сталеплавильных цехов, к вращающимся печам огнеупорного производства. Ко второй категории – подающие воду прокатным цехам, кислородным и компрессорным станциям, аглофабрикам, огнеупорным и метизным производствам. К третьей группе – подающие воду ремонтным цехам и другим абонентам, имеющим вспомогательное значение.

#### **11.4. Очистка сточных вод**

Сточные воды металлургических заводов содержат окислы железа, оксиды кальция и магния, углерод, сульфаты, масла, хлориды и другие вещества. Для механической очистки сточных вод в составе очистных сооружений используют различные решетки. При производительности станции для очистки сточных вод, превышающей 100 м<sup>3</sup>/сутки, устанавливают специальные песколовки, представляющие собой песчаные фильтры, улавливающие твердые частицы. Отстаивание сточных вод производится в отстойниках. Так как скорость движения воды мала из-за большого поперечного сечения отстойника, твёрдые частицы под действием гравитационных сил выпадают в осадок и удаляются в виде шламов (обводненный осадок). Биологическую очистку сточных вод осуществляют при помощи биологических фильтров, в которых сточные воды фильтруются через крупнозернистый материал, покрытый биологической плёнкой, образованной колониями аэробных микроорганизмов, при

этом происходит окисление находящихся в очищаемой воде органических веществ.

Сточные воды с повышенной кислотностью или щёлочностью перед отводом в канализацию населённого пункта или в водоём подлежат нейтрализации. Для нейтрализации допускается смешение кислых и щелочных вод, введение реагентов или фильтрование сточных вод через нейтрализующие материалы. Обеззараживание сточных вод производится жидким хлором или гипохлоридом натрия. Концентрация активного хлора в обеззараживаемой воде поддерживается на уровне от 3 до 10 г/м<sup>3</sup>.

## **12. Вторичные энергоресурсы черной металлургии**

### **12.1. Источники вторичных энергоресурсов**

Являясь одной из самых топливopotребляющих отраслей промышленности, металлургия обладает рядом особенностей. Высокотемпературные технологические процессы приводят к относительно низкой эффективности использования топлива. Одновременно значительная часть вносимой в процесс энергии уходит из агрегата с энергоносителями, которые могут быть затем использованы в виде вторичных энергоресурсов. Распределение ВЭР по основным переделам чёрной металлургии приведено в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Распределение ВЭР по основным металлургическим переделам

Передел	ВЭР в % от общего количества по отрасли	Возможный % использования ВЭР
Коксохимическое производство	41,7	90
Доменное производство	37,0	85
Мартеновское производство	14,6	60
Прокатное производство	6,7	40
По отрасли	100	80

## 12.2. Классификация ВЭР

По виду энергии ВЭР разделяют на горючие (топливные), тепловые и избыточного давления газа.

К горючим ВЭР относятся побочные продукты технологических процессов, которые могут быть использованы в качестве энергетического или технологического топлива.

Тепловые ВЭР – это физическая теплота основных и побочных продуктов технологических процессов, отходящих газов технологических агрегатов, а также систем охлаждения их элементов. Если эта теплота используется для подогрева сырья или воздуха, то есть возвращается в технологический процесс, то к ВЭР она не относится.

ВЭР избыточного давления газов – это потенциальная энергия газов, выходящих из технологических агрегатов с избыточным давлением, которое может быть использовано в утилизационных установках для получения других видов энергии.

## 12.3. Характеристика ВЭР

### 12.3.1. Характеристика горючих ВЭР

В чёрной металлургии к горючим ВЭР относятся доменный, ферросплавный и конвертерный газы, а иногда также и коксовый газ.

**Доменный газ** образуется при выплавке чугуна в доменных печах. Его выход и химсостав зависят от свойств шихты и топлива, режима работы печи, способов интенсификации процесса и других факторов. Выход газа колеблется в пределах 1500–2500 м<sup>3</sup> на тонну чугуна. Доля негорючих компонентов (N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>) в доменном газе составляет около 70%, поэтому он имеет низкую теплоту сгорания (3–5 МДж/м<sup>3</sup>).

При сжигании доменного газа максимальная температура продуктов сгорания равна 1400–1500<sup>0</sup>С. Если перед сжиганием газ и воздух подогреть, то температуру продуктов сгорания можно значительно повысить.

На выходе из печи газ загрязнён колошниковой пылью, содержащей окислы железа, кремния, алюминия, марганца, серы, а также другие компоненты, имеющиеся в шихте. Запыленность доменного газа очень высока и достигает 20–

25 г/м<sup>3</sup>, поэтому использовать его в качестве топлива можно только после очистки.

При применении доменного газа для обогрева коксовых печей, воздухонагревателей доменных печей, а также в утилизационных бескомпрессорных турбинах (ГУБТ) содержание пыли в нем не должно превышать 4 мг/м<sup>3</sup>.

**Ферросплавный газ** образуется при выплавке ферросплавов в рудовосстановительных печах. Газ, отходящий из закрытых печей, можно использовать в качестве топливных ВЭР. В открытых печах в связи со свободным доступом воздуха газ сгорает на колошнике.

Выход и состав ферросплавного газа зависит от марки выплавляемого сплава, состава шихты, режима работы печи, ее мощности и т.п. Состав газа: 50–90% СО, 2–8%Н<sub>2</sub>, 0,3–1%СН<sub>4</sub>, 2–5%СО<sub>2</sub>, О<sub>2</sub><1%, остальное N<sub>2</sub>. Максимальная температура продуктов сгорания около 2000<sup>0</sup>С. Запыленность газа высока и составляет 30–40 г/м<sup>3</sup>.

**Конвертерный газ** образуется при выплавке стали в кислородных конвертерах. Выход его колеблется, в среднем, от 80 до 100 м<sup>3</sup> на тонну стали. Газ характеризуется высокой запыленностью, достигающей 200 г/м<sup>3</sup>. Состав зависит от свойств шихты, режима и интенсивности продувки, конструкции фурм, типа процесса и других факторов. Основная составляющая – оксид углерода СО. После очистки состав газа примерно таков: 70–80%СО; 15–20%СО<sub>2</sub>; 0,5–0,8%О<sub>2</sub>; 3–12%Н<sub>2</sub>. Теплота сгорания – 8,4–9,2 МДж/м<sup>3</sup>. Максимальная температура сгорания достигает 2000<sup>0</sup>С.

**Коксовый газ** образуется в процессе получения кокса (спекание угольной шихты) в количестве 400–460 м<sup>3</sup> на тонну кокса. В качестве топлива он используется после извлечения ряда ценных химических продуктов.

Состав коксового газа зависит от свойств угольной шихты и условий коксования. Объёмные доли компонентов в газе находятся в следующих пределах: 52–62%Н<sub>2</sub>; 0,3–0,6%О<sub>2</sub>; 23,5–26,5%СН<sub>4</sub>; 5,5–7,7%СО; 1,8–2,6%СО<sub>2</sub>. Теплота сгорания – 17–17,6 МДж/м<sup>3</sup>, максимальная температура продуктов сгорания около 2000<sup>0</sup>С.

### 12.3.2. Характеристика тепловых ВЭР

Доля тепловых ВЭР к общему выходу ВЭР составляет около 30%.

### **Физическая теплота готового продукта и шлаков**

Из печей и агрегатов металлургического производства готовый продукт и шлак выходят с высокой температурой. Чугун и сталь в большинстве случаев являются промежуточными продуктами металлургического производства и их физическая теплота, как правило, используется в последующих переделах: чугуна – в сталеплавильном, стали – в прокатном производстве. Поэтому физическая теплота их при таком использовании к ВЭР не относится.

Количество тепловой энергии, которое можно получить при использовании теплоты жидких шлаков, составляет около 6% от теплоты технологического процесса. Выход шлаков при выплавке чугуна составляет 0,4–0,6 т/т при температуре 1400–1500<sup>0</sup>С, а при выплавке стали – 0,2–0,3 т/т при температуре 1500–1600<sup>0</sup>С.

### **Физическая теплота вторичных газов**

Вторичные газы подразделяются на горючие и негорючие (дымовые). Первые образуются непосредственно в технологическом процессе, вторые выделяются при сжигании топлива. Источниками их образования являются мартеновские, электросталеплавильные, нагревательные и обжиговые печи, коксовые батареи, кислородные конвертеры, агломерационные машины и воздухонагреватели доменных печей. В некоторых производствах (электросталеплавильном, обжиговом, агломерационном) продукты сгорания смешиваются с технологическими газами.

Коксовый газ выходит из коксовой печи с температурой 600–700<sup>0</sup>С. Непосредственное использование физической теплоты этого газа затруднено в связи с большим содержанием в нём смол.

Температура доменного газа равна 150–350<sup>0</sup>С. Использование его физической теплоты возможно только после сухой очистки.

Среди горючих газов наибольшую температуру (1400–1800<sup>0</sup>С) имеет конвертерный газ.

Температура ферросплавного газа зависит от вида получаемого сплава. Так, при выплавке ферромарганца газ выходит из печи с температурой 200–300<sup>0</sup>С, а при выплавке ферросилиция – 500–700<sup>0</sup>С.

Отходящие газы мартеновских печей состоят из продуктов сгорания топлива и газообразных компонентов химических реакций, протекающих в технологическом процессе.

Выход газа равен 60–80 м<sup>3</sup> на тонну стали, запыленность его 10–15 г/м<sup>3</sup>. Температура непосредственно за ванной – 1650<sup>0</sup>С, за регенераторами 600–850<sup>0</sup>С.

В электросталеплавильных печах газы образуются в процессе химических реакций. При использовании топливно-кислородных горелок к газам добавляются продукты сгорания топлива. Температура газов до разбавления воздухом составляет 1600–1800<sup>0</sup>С, запыленность – 50–60 г/м<sup>3</sup>.

Газы известково-обжиговых печей состоят, главным образом, из продуктов сгорания топлива и газов, образующихся при разложении карбонатов. Выход газов из вращающихся печей равен 2500–3000 м<sup>3</sup>/т, температура – 750–800<sup>0</sup>С. Запыленность их зависит от типа печи и колеблется в пределах от 5 до 75 г/м<sup>3</sup>.

Отходящие газы агломерационных машин содержат компоненты продуктов сгорания газообразного и твёрдого топлива, летучих веществ коксовой мелочи, а также продуктов разложения карбонатов. По длине машины температура газов неравномерна, наиболее высока она (200–250<sup>0</sup>С) в хвостовой части вакуум-камер. Запыленность газов – 4–7 г/м<sup>3</sup>.

В системе отопления коксовых батарей образуются продукты сгорания, которые после регенератора имеют температуру 250–350<sup>0</sup>С.

Отходящие газы нагревательных печей состоят из продуктов сгорания топлива и, в зависимости от типа печи, имеют температуру 800–1300<sup>0</sup>С. Их теплота используется для нагрева воздуха, при этом температура понижается до 400–600<sup>0</sup>С.

Температура дымовых газов воздухонагревателей доменных печей равна 200–300<sup>0</sup>С и обычно не используется.

При сжигании ферросплавного газа под сводом в закрытых печах с укрытым колошником образуются продукты сгорания с температурой 1600<sup>0</sup>С.

К тепловым ВЭР относятся также энергоносители в виде водяного пара, горячей воды, полученные при охлаждении технологических агрегатов, а также вентиляционные выбросы.

Горючие ВЭР и отходящие газы технологических агрегатов характеризуются высокой запыленностью, поэтому их использованию должна предшествовать очистка.



## **13. Основные направления использования ВЭР**

### **13.1. Утилизация теплоты готового продукта и шлаков**

Потери физической теплоты с готовым продуктом в чёрной металлургии характеризуются следующими показателями (ГДж на 1 т продукции): с агломератом – 0,63; с коксом – 1,26; с жидким чугуном – 1,05; с жидкой сталью – 1,26; с жидким шлаком – 0,84; с прокатом – 0,5.

Физическая теплота высокотемпературных продуктов в общем случае может быть использована по одному из следующих вариантов:

регенерация теплоты с ее возвратом в данный процесс;  
технологическое использование теплоты в последующем процессе;

энергетическое использование теплоты.

Для металлургического производства характерно последующее технологическое использование теплоты. Так, жидкий чугун, полученный в доменной печи, поступает в мартеновские печи или в конвертеры. В этом случае физическая теплота жидкого чугуна входит в тепловой баланс последующего передела в качестве одной из приходных его статей. Использование теплоты жидкой стали возможно в печах прокатного производства (горячий посад) или в машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Такие виды сырья для доменного производства как агломерат и, особенно, раскаленный кокс, располагают значительной физической теплотой.

Агломерат в конце процесса спекания имеет температуру 600–900<sup>0</sup>С. Физическая теплота агломерата может использоваться непосредственно в технологическом процессе и для энергетических нужд. Так, теплота горячего возврата используется при смешении агломерата с аглошихтой для её подогрева. Воздух, направляемый в зону спекания агломерата, предварительно используют для охлаждения готового агломерата, где он разогревается до 500–600<sup>0</sup>С.

Кокс выдаётся из коксовой печи при температуре 1000–1100<sup>0</sup>С. При его охлаждении на установках сухого тушения кокса (УСТК) до 70% теплоты раскаленного кокса используется в котлах-утилизаторах. Удельный выход пара составляет 0,4 т/т кокса.

Жидкая сталь из сталеплавильных агрегатов уносит значительное количество теплоты. Горячий посад слитков в нагревательные колодцы при температуре  $800-900^{\circ}\text{C}$  снижает эти потери на 50%, что, соответственно, приводит к уменьшению расхода топлива на обогрев колодцев и повышению их производительности. Более полное использование физической теплоты жидкой стали происходит при ее разливе на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). При этом исключается из баланса энергия, расходуемая обжимными станами, нагревательными колодцами и другим оборудованием, используемым при традиционной технологии получения проката.

Прокатные заготовки (блюда, слябы), поступающие с обжимных станов, имеют температуру около  $1000^{\circ}\text{C}$ . Охлаждение заготовок осуществляется в штабелях на воздухе до температуры  $80^{\circ}\text{C}$ , при этом физическая теплота металла теряется безвозвратно. Существует способ охлаждения заготовок в камерах с отбором теплоты и ее использованием на производство пара, при этом сокращаются площади складов, ускоряется процесс охлаждения, снижается угар металла, облегчаются условия труда.

Шлаки являются побочным продуктом всех плавильных металлургических процессов. Обладая высокой температурой ( $1300-1600^{\circ}\text{C}$ ), металлургические шлаки уносят 3-6% тепла, расходуемого на технологический процесс. В настоящее время значительная часть шлаков доменного, сталеплавильного и ферросплавного производств используется как сырье для переработки в строительные материалы. При утилизации теплоты шлаков имеются определенные трудности. Главная – их периодический выпуск из печей. Возможные схемы использования теплоты шлаков определяются способом их грануляции: мокрой (водой), сухой (воздухом) и контактной (на подвижных охлаждаемых поверхностях). Использовать теплоту шлаков можно для технологических и энергетических целей. В основном, в теплоутилизационных установках, предназначенных для использования теплоты шлаков, получают горячую воду на нужды теплоснабжения.

### 13.2. Утилизация теплоты уходящих газов металлургических печей

Теплота уходящих газов металлургических печей может быть использована по трём основным схемам: замкнутой или технологической; разомкнутой или энергетической; и

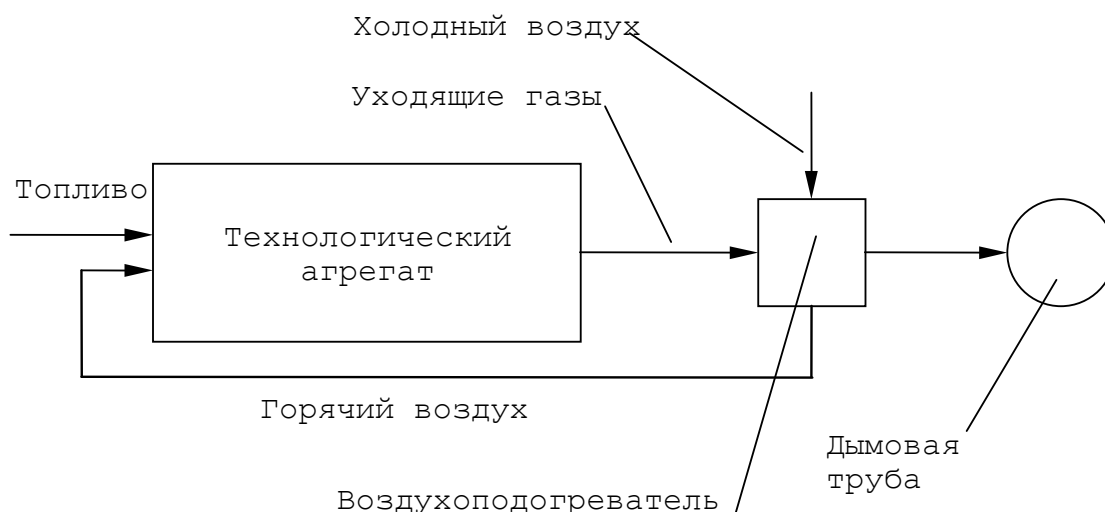


Рис. 13.1. Замкнутая схема использования теплоты уходящих газов

комбинированной. В замкнутой схеме (рис. 13.1) за счёт теплоты уходящих газов в регенеративных (поочередное соприкосновение горячего и холодного теплоносителей с одними и теми же поверхностями аппарата) или рекуперативных (теплообмен между теплоносителями осуществляется непрерывно через разделяющую их стенку) теплообменниках нагревается дутьевой воздух, иногда сжигаемый газ или шихтовые материалы. При этом часть теплоты уходящих газов возвращается в агрегат что позволяет снизить расход топлива.

В разомкнутых схемах теплота уходящих газов используется в котлах-утилизаторах, а пар, производимый ими, в турбогенераторах или на технологические нужды.

В комбинированных схемах, представляющих собой комбинацию замкнутой и разомкнутой схемы, используются как теплообменники, так и котлы-утилизаторы.

### **13.3. Утилизация теплоты охлаждения элементов печей**

В высокотемпературных технологических установках условия службы огнеупорной кладки и металлических конструкций исключительно тяжелые. Поэтому применяют охлаждение элементов, обеспечивающее надежность печного агрегата и увеличивающее срок его службы. На охлаждение печей расходуется более половины всей воды, потребляемой металлургическим предприятием. Для охлаждения печей используют техническую воду, что приводит к отложению солей в деталях и часто к их быстрому прогару. Теплота охлаждения в тепловых балансах печей составляет 10–30% теплоты, внесенной в печь. При водяном охлаждении вся отобранная теплота теряется.

В 1946 году советскими инженерами С.М.Андоньевым и Г.Е.Крушелем была разработана система испарительного охлаждения (СИО), в которой вода превращается в пар и интенсивно отбирает теплоту от стенок охлаждаемых элементов (рис. 13.2). Естественная циркуляция воды в контуре охлаждения осуществляется благодаря разности плотностей воды и пароводяной смеси, образующейся в охлаждаемом элементе за счёт его обогрева. Так как на испарение 1 кг воды затрачивается примерно 2260 кДж теплоты (при атмосферном давлении), а на нагрев ее до температуры кипения примерно 250–290 кДж, то каждый килограмм воды при испарительном охлаждении отбирает около 2500 кДж теплоты. При водяном охлаждении 1 кг воды может отобрать не больше 40–45 кДж, так как нагрев технической воды, во избежание выпадения солей и образования накипи, не должен превышать 60–65<sup>0</sup>С.

Таким образом, при испарительном охлаждении расход воды по сравнению с водяным сокращается в десятки раз. При этом замена технической воды химически очищенной приводит к увеличению срока службы охлаждаемых элементов в 5–10 раз. При испарительном охлаждении снижается расход электроэнергии на подачу воды, отпадает необходимость в сооружении громоздких и дорогостоящих водоводов, насосных станций, градирен, бассейнов, прудов.

Испарительное охлаждение применяют на доменных, мартеновских, нагревательных печах. Циркуляция воды в системе обычно естественная, но бывает и принудительная с

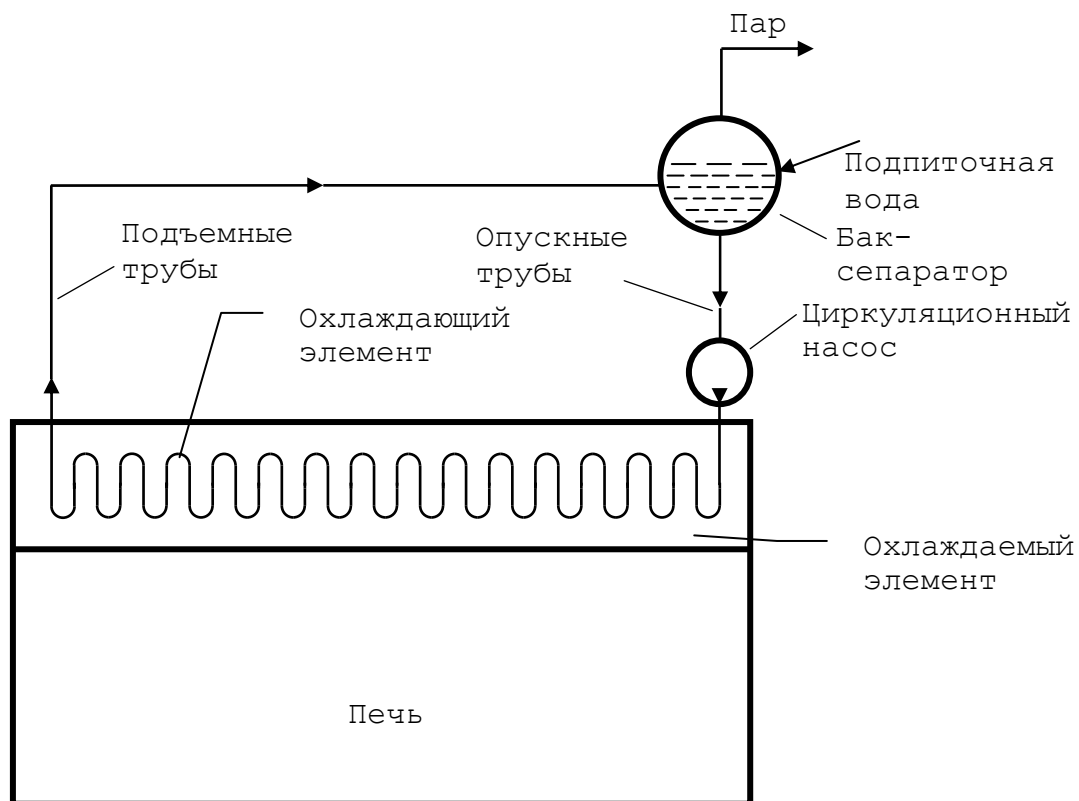


Рис. 13.2. Система испарительного охлаждения с принудительной циркуляцией

использованием циркуляционного насоса, когда естественная циркуляция недостаточно эффективна.

#### 13.4. Котлы-утилизаторы

Котлы-утилизаторы (бестопочные котлы) предназначены для получения пара за счёт использования теплоты уходящих газов технологических агрегатов. В чёрной металлургии температура уходящих газов в разных печах составляет  $500-1800^{\circ}\text{C}$ . Поэтому различают котлы-утилизаторы радиационного, радиационно-конвективного и конвективного типов. Котлы первых двух типов применяют в конвертерном производстве, где температура газов выше  $1000^{\circ}\text{C}$ .

Наибольшее распространение получили котлы-утилизаторы (КУ) конвективного типа. Их устанавливают за мартеновскими, нагревательными, обжигowymi и другими печами. Эти котлы предназначены для использования газов с температурой  $600-850^{\circ}\text{C}$ . По компоновке поверхностей на-

грева и газового тракта различают конвективные газотрубные и водотрубные КУ.

#### 13.4.1. Газотрубные котлы-утилизаторы

Основная особенность газотрубных КУ заключается в движении горячих газов внутри труб, образующих поверхности нагрева котла, вода и пароводяная смесь находятся снаружи труб с газом. Газотрубные КУ работают с естественной циркуляцией, имеют горизонтальное расположение испарительных поверхностей, размещённых внутри барабана (рис. 13.3). В барабане размещено также сепарационное устройство для разделения воды и насыщенного пара. К

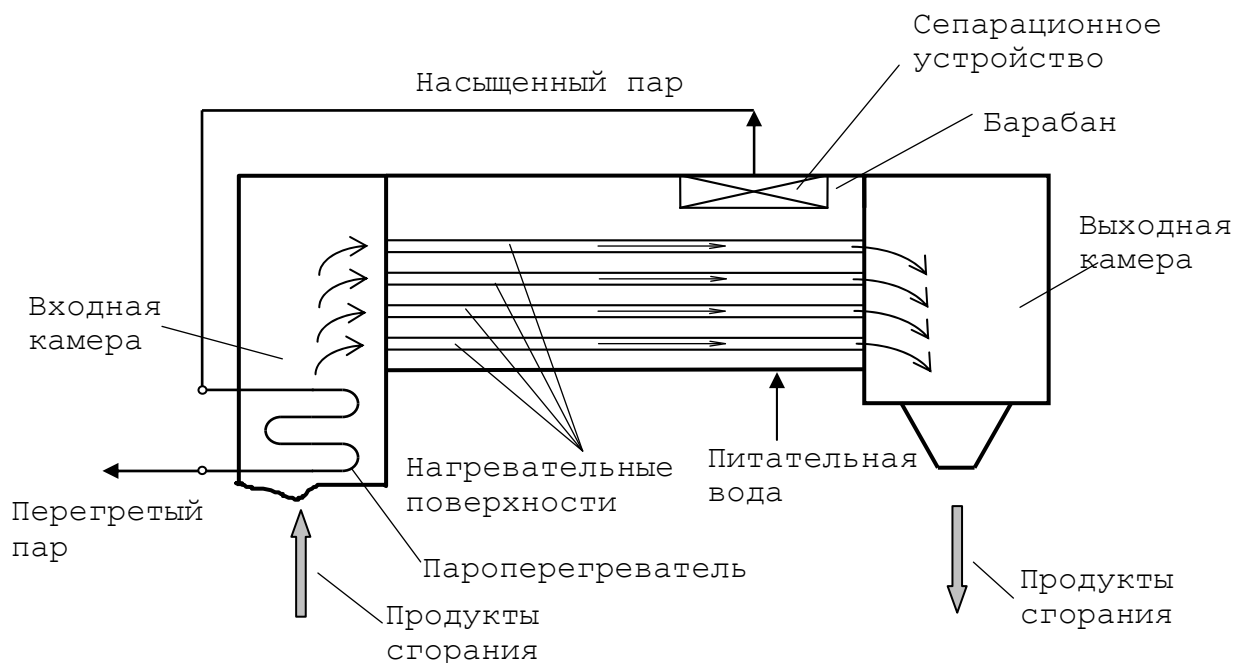


Рис. 13.3. Принципиальная схема газотрубного котла-утилизатора

барабану котла крепят входную и выходную камеры.

По такой схеме выполняются котлы КУ-16 и КУ-40, рассчитанные на объём поступающих газов (с учётом подсосов воздуха перед ними) 16000 и 40000 м<sup>3</sup>/ч. Они вырабатывают перегретый пар давлением 0,9–1,4 МПа с температурой 250<sup>0</sup>С в

количестве 1,6-2,8 и 7,8 т/ч соответственно. Котлы оборудованы устройствами для очистки поверхностей нагрева и снабжены аппаратурой КИП и А.

### 13.4.2. Водотрубные котлы-утилизаторы

Водотрубные котлы-утилизаторы отличаются от газотрубных тем, что по газоходам котла движутся уходящие газы печей, а испарительные трубные поверхности, выполненные из змеевиковых пакетов, размещаются в газоходах на пути газов. Пароводяная смесь циркулирует внутри

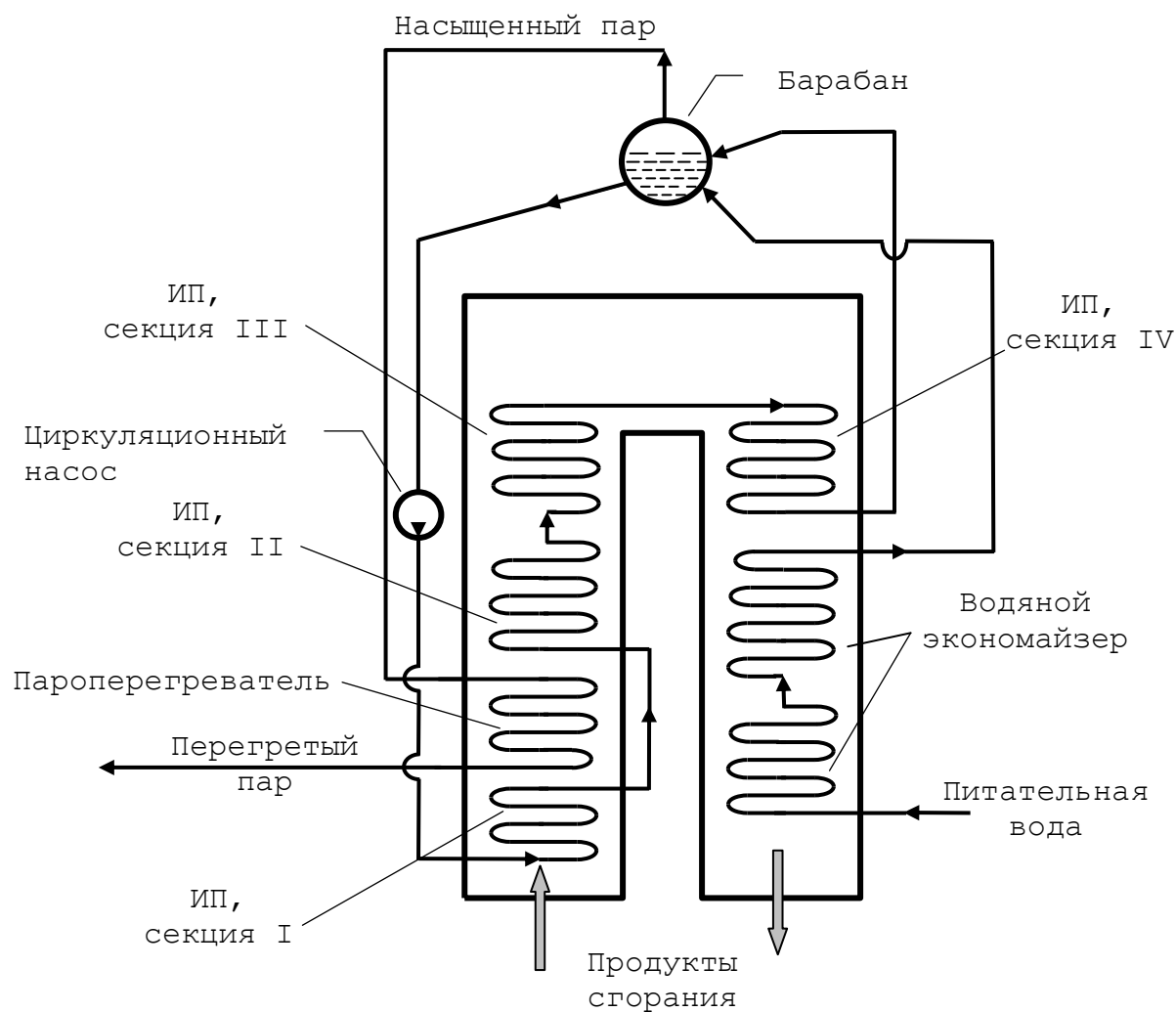


Рис. 13.4. Схема водотрубного котла-утилизатора П-образной компоновки  
ИП - испарительные поверхности

труб. Котлы имеют башенную и П-образную (рис. 13.4) компоновку. Для установки за технологическими агрегатами котлы выбирают в зависимости от объема уходящих газов, подлежащих утилизации (КУ-50, КУ-60, КУ-80, КУ-125, КУ-150). Цифры указывают на объем уходящих газов, тыс. м<sup>3</sup>/ч. Температура газов на входе 600–850 °С. Компоновка котлов горизонтальная (КУ-50), башенная (КУ-100Б), П-образная (остальные). Котлы однобарабанные, по ходу газов последовательно расположены одна секция испарительной поверхности, пароперегреватель, еще несколько секций испарительных поверхностей, водяной экономайзер. Все поверхности из труб Ø 32х3 мм. Применение труб малого диаметра вызвано необходимостью при конвективной теплоотдаче разместить большую поверхность нагрева в относительно небольшие габариты котла.

Циркуляция в КУ многократно принудительная, циркуляционный насос устанавливается на опускной трубе.

Тяга обеспечивается дымососом, рассчитанным на сопротивление системы «печь-котел-газоочистка». Газы охлаждаются в КУ до 200–230 °С, что достаточно для нормальной работы дымососа.

В конвективных КУ вырабатывается до 50 т пара в час (КУ-150), давление до 4,5 Мпа, температура 340–400 °С.

Пар используется для привода паровых турбин коксовых эксгаустеров (дутьевых средств, создающих разрежение), турбокомпрессоров, турбовоздуходувок, турбонасосов, турбогенераторов.

## **14. Энергетический аудит и энергетический менеджмент**

### **14.1. Общие положения**

За прошедшие после первого мирового энергетического кризиса более чем двадцать лет, в различных странах были разработаны и внедрены новые методы, средства и программы воздействия на потребление энергии. Ключевая концепция этих методов и программ – это управление с точки зрения обеспечения только необходимых потребностей, а также комплексное планирование ресурсов. Основным принципом этой концепции является то, что производители энергии и ее потребители имеют общие экономиче-



ские интересы в отношении внедрения экономии энергии и повышения эффективности использования энергии.

Как правило, значительная экономия может быть достигнута без всяких затрат или при очень низком уровне затрат. В этом случае самое главное – информация.

Экономия другого рода может быть достигнута только путем инвестирования, и такие инвестиции выгодны. Период окупаемости таких инвестиций может составлять год-два.

Интенсивный рост цен на энергоносители явился причиной большинства проблем не только в энергетике, но и во всей экономике.

Отсутствие энергоресурсов в Украине явилось одной из важнейших причин того, что большая часть предприятий сократила производство своей продукции либо попросту простаивает из-за недостатка энергоресурсов. В то же время удельное потребление энергии на единицу произведенной продукции в Украине – одно из наивысших в Европе. На многих предприятиях только около 50% общей потребляемой энергии идет на производственные нужды. Все остальное попросту теряется.

Естественно, начать улучшать эффективность производства разумно там, где можно получить наиболее заметное улучшение при минимальных затратах. Прежде чем приступить к действиям по увеличению энергетической эффективности предприятий, необходимо провести энергетический аудит предприятия. Аудит – это обследование. Такую работу обычно целесообразно поручить независимым специалистам – энергетическим аудиторам, которые должны работать в тесном контакте с энергетическими и технологическими службами предприятия.

Процесс проведения энергетического аудита включает в себя следующие этапы:

- первоначальный обзор предприятия;
- создание карты потребления энергии на предприятии;
- сравнение потребления энергии как в целом по предприятию, так и по отдельным технологическим процессам и агрегатам, с данными из литературы, данными о подобных технологических процессах на других предприятиях;

■ составление списка выявленных возможностей для экономии энергии на данном предприятии, ранжирование мероприятий по эффективности с учетом затрат, определение тех предложений, которые обеспечивают наибольший и быстро достижимый эффект при минимальных затратах, более детальная проработка проектов по таким предложениям.

Для наших предприятий прежде всего такими предложениями могут стать мероприятия, направленные на устранение всякого рода утечек и прямых потерь путем ремонта и простейшей реконструкции.

Проведение на предприятии энергетического аудита – необходимая основа для внедрения системы энергетического менеджмента.

Энергетический менеджмент – это система управления, основанная на проведении набора типовых измерений и проверок, обеспечивающая такую работу предприятия, при которой потребляется только совершенно необходимое для производства количество энергии. Энергетический менеджмент – это инструмент управления предприятием, который обеспечивает постоянное знание распределения и уровня потребления энергоресурсов на предприятии, оптимального использования энергоресурсов как для производства, так и для потребностей отопления и иных непроизводственных нужд.

Занимаются энергетическим менеджментом сотрудники предприятия, ответственные за использование энергоресурсов.

Энергетический аудит, проведенный профессиональными энергетическими аудиторами, а затем энергетический менеджмент, которым занимаются специалисты самого предприятия – это мероприятия, с которых следует начинать повышать эффективность украинских предприятий. Применение такого подхода уменьшит импорт дорогостоящих энергоносителей и в долгосрочном плане уменьшит зависимость страны от стран – производителей энергоносителей.

Существует мнение, что основным рычагом проведения политики энергосбережения должен быть инспекторский контроль, нормирование, проверка соблюдения норм и наказание за неэффективное использование энергоресурсов. Мировая практика показала, что только таким методом нельзя решить проблему. Только с помощью длительной

разъяснительной работы, обучения людей, применения экономических методов влияния на процессы потребления энергии можно решить эту проблему. В конце концов каждый и на каждом уровне должен понять – экономить энергию – экономить деньги.

## **14.2. Методика проведения энергетического аудита**

Методика проведения энергетического аудита может быть условно разбита на 4 этапа.

### **Этап 1**

После установления контакта с руководством предприятия необходимо выяснить мнение работников предприятия об энергосбережении и их подходы в этой области, выяснить, что было предпринято предприятием в отношении энергосбережения и имеются ли планы на будущее. Целесообразно, чтобы на этом этапе энергетический аудитор проинформировал руководство предприятия об основных направлениях энергетического аудита и ожидаемых результатах.

Затем собираются данные по энергопотреблению за прошедшие периоды времени (с использованием разработанных стандартных опросных листов). В ходе сбора данных накапливается информация по основным производствам и установкам. Очень важно, чтобы эти данные были объективно верны, не "лакированы", для этого руководство предприятия и его работники должны проникнуться мыслью о том, что их сотрудничество с аудитором имеет важную для предприятия цель – улучшение положения предприятия на рынке продукции, его более стабильное положение.

### **Этап 2**

Общее энергопотребление различных энергоносителей, которое, как правило, известно из финансовой отчетности, разбивается по отдельным зданиям, группам технологических процессов, отдельным основным процессам и установкам. Эта работа является созданием карты потребления энергии. Карту обычно создают, проводя дополнительные измерения в узловых точках предприятия с помощью переносных или стационарных счетчиков. Некоторые данные основываются не на измерениях, а на расчетах.

В процессе ознакомления с предприятием, анализа данных на этапе 1 и в процессе составления карты потребления энергии собирается информация об энергопотреблении по отдельным технологическим процессам и установкам. На основе этого постепенно выявляются возможности экономии энергии. Для определения теоретических возможностей экономии энергии полезно произвести сравнение ключевых данных (например, расход энергии на 1 тонну продукции) с данными, известными из специальной литературы, информацией по аналогичным производствам.

Опытный аудитор может быстро определить множество типичных мест возможной экономии энергии (разогретые поверхности, утечки энергоносителей, плохая изоляция, непрерывно работающие двигатели, высокая температура отходящих газов и т.д.).

Все выявленные возможности экономии энергии должны быть внесены в перечень мест возможной экономии с указанием приоритетности (в зависимости от потенциала экономии в случае внедрения каждой из возможностей). Если на отдельном процессе или установке расходуется большое количество энергии и имеются реальные возможности экономии, то такая экономия должна иметь высокий приоритет в сравнении с экономией в системе, где расход энергии невелик.

### **Этап 3**

Возможности экономии энергии из перечня "возможной экономии", имеющие высокий приоритет (большой потенциал) оцениваются более детально с технической и экономической точки зрения. В ходе выполнения этой оценки могут потребоваться дополнительные измерения, консультации со специалистами для составления программы экономии энергии. В этой программе отдельным возможностям экономии энергии должны быть даны четкие приоритеты.

В конце этого этапа руководству предприятия представляется отчет по энергетическому аудиту. Предварительно крайне важно провести обсуждение этого отчета с соответствующими сотрудниками предприятия и, в случае, если какой либо из пунктов отчета вызывает критику персонала, этот пункт необходимо дополнительно проанализировать. Важно также выполнить эту работу в сжатые сроки

– это повышает шансы принятия руководством предприятия положительного решения.

#### **Этап 4**

Этот этап включает в себя планирование и внедрение принятой программы экономии энергии. Энергетический аудитор может не принимать участия в этой работе, поскольку, зачастую, является независимым экспертом. Однако целесообразно привлечь его как автора программы к сотрудничеству на условиях выполнения функций контроля и консультирования в процессе внедрения программы.

Еще один вид деятельности аудитора может заключаться в совершенствовании системы энергетического менеджмента на предприятии. На основе карты распределения и расхода энергии можно оснастить счетчиками основные производства и установки и разработать схему анализа данных.

Энергетический аудитор должен быть специалистом широкого профиля с хорошей теоретической подготовкой и практическим опытом в области энергосбережения на промышленных предприятиях. При необходимости он должен выполнять функции руководителя проекта, привлекая к работе необходимых специалистов.

Методическое обеспечение энергетической экспертизы предприятий и организаций включает следующие документы:

1. Характеристика энерго- и ресурсопотребления предприятия.
2. Перечень наиболее характерных энергосберегающих мероприятий.
3. Перечень вопросов по энергосбережению предприятий.
4. Паспорт технологии.

Отчет по энергетическому аудиту, выполняемый после проведения всей работы, имеет такую структуру:

- титульный лист;
- содержание;
- аннотация;
- введение;
- описание предприятия;
- схемы потребления энергии;

- обзор возможностей экономии энергии;
- обзор возможных программ по энергосбережению;
- обзор вопросов, касающихся внедрения системы энергетического менеджмента на данном предприятии;
- приложение.

## **15. Сравнительная экономическая эффективность вложений в теплоэнергетику**

При разработке теплоэнергетических установок и объектов окончательное решение о внедрении принимается после выбора оптимального варианта технического решения задачи. Такой выбор производится с помощью одного из следующих методов оценки экономической эффективности: вариантного, экстремального, разностного или обобщенной разности приведенных затрат.

Вариантный метод заключается в определении приведенных затрат по каждому варианту и сопоставлении полученных значений.

Экстремальный метод состоит в нахождении минимума функции, отражающей в аналитической форме изменение приведенных затрат под влиянием заданных параметров теплоэнергетической установки. Этот метод, позволяющий избежать перебора вариантов, обладает и определенными недостатками: повышенной трудоемкостью из-за необходимости представления приведенных затрат в виде математических функций или алгоритмов и программ их подсчета; пониженной точностью, обусловленной необходимостью усреднения экономических показателей при их аналитическом представлении. С помощью экстремального метода можно установить «оптимальную зону», в пределах которой может быть выбран оптимальный вариант.

Разностный метод заключается в определении разности приведенных затрат по сравниваемым вариантам, учитывающим только те затраты, по которым отличаются варианты. Это позволяет упростить установление экономии в приведенных затратах.

При разработке новых конструкций агрегатов, схем безотходной технологии, когда отсутствует полная технико-экономическая информация, а известны лишь примерные соотношения показателей, может быть использован метод

обобщенной разности приведенных затрат. По этому методу разность приведенных затрат по сравниваемым вариантам относится к специально выбранному показателю или их сочетанию, характерному для рассматриваемой задачи. Это позволяет провести предварительный анализ условий сравнительной эффективности вариантов.

Технико-экономическое совершенство энергетической установки может характеризоваться отклонением ее фактического или проектируемого к. п. д. от значения, соответствующего минимуму приведенных затрат.

Технико-экономическому выбору вариантов должно предшествовать приведение их в сопоставимый вид. Основными этапами приведения вариантов в сопоставимый вид являются: технико-экономическое обоснование сравниваемых вариантов, количественный и качественный анализ вариантов; обеспечение тождественности учета влияющих факторов.

Технико-экономическое обоснование сравниваемых вариантов заключается в отборе конкурентоспособных вариантов на основе качественного и предварительного количественного анализа.

Количественный и качественный анализ вариантов заключается в обосновании совокупности взаимосвязанных производств, объектов, принимаемых к рассмотрению. Сюда включается выявление различий в производственных (энергетических) связях между исследуемым и другими производствами по видам и объемам используемых материалов и сырья, энергоресурсов, а также получаемой технологической и энергетической продукции.

Тождественность учета влияющих факторов (по вариантам) проявляется в обеспечении одинаковых показателей по производственному (энергетическому) эффекту, в комплексности учета влияющих факторов, включая социальные, а также в обеспечении тождественности методик количественной оценки отдельных показателей.

Показатели по производственному (энергетическому) эффекту должны отражать у потребителей тождество по видам и объемам используемой продукции, по надежности энергоснабжения потребителей, по качеству энергетической и технологической продукции.

Способы достижения тождества по производственному эффекту различаются в зависимости от постановки задачи:

1) сопоставляются варианты обеспечения потребителей энергетической продукцией;

2) сопоставляются варианты использования различных теплоносителей;

3) определяется экономическая эффективность создания данной энергоустановки.

В первом случае должно обеспечиваться одинаковое удовлетворение данных потребителей в мощности и энергии во всех сравниваемых вариантах. При этом для установок, работающих совместно с другими установками, следует учитывать условия параллельной работы и принимать оптимальное распределение нагрузки.

Во втором случае должно обеспечиваться одинаковое количество и качество технологической продукции для всех вариантов заменяемых энергоносителей. При использовании электроэнергии необходимые электрические мощности и годовая выработка электроэнергии должны быть такими, чтобы с учетом расходов на собственные нужды электростанций, потерь в электрической сети и к. п. д. процесса обеспечить необходимую производительность технологических агрегатов и качество продукции.

В третьем случае для оценки технико-экономической эффективности создания данной энергоустановки в расчет должны вводиться заменяемые установки, то есть те, которые могут быть заменены рассматриваемой энергоустановкой при неизменном обеспечении потребителей (одна установка может потребовать ввода в расчет несколько заменяемых установок). При рассмотрении энергогенерирующих установок в качестве заменяемых в расчет вводятся те, которые замыкают баланс мощности или энергии по данному энергоносителю, причем установки, замыкающие баланс мощности или энергии, могут быть различными.

При рассмотрении задач нахождения оптимального варианта необходимо учитывать затраты, относящиеся к элементам производства, взаимосвязанным в течение всего срока службы с рассматриваемым объектом и необходимым для его нормальной эксплуатации.



## Л и т е р а т у р а

1. Теплоэнергетика металлургических заводов / Ю.И.Розенгарт, З.А.Мурадова, Б.З.Теверовский, О.Г.Фёдоров, Б.И.Якобсон.-М.: Металлургия, 1985.-302 с.
2. Алексеев Г.Н., Общая теплотехника: Учеб. пособие.-М.: Высш. школа, 1980.-552 с., ил.
3. Вторичные энергетические ресурсы чёрной металлургии и их использование / Ю.И.Розенгарт, Б.И.Якобсон, З.А.Мурадова.-К.:Выща шк., Головное изд-во, 1988.-328 с., ил.
4. Старк С.Б. Теплоэнергетическое хозяйство металлургических заводов. - М.:Металлургия, 1966.
5. Пашков В.Д. Воздуходувное хозяйство металлургических заводов. - М.:Металлургиздат, 1962.
6. Рябинький Б.Я. Планирование и экономика металлургических заводов. - М.:Металлургиздат, 1963.
7. Сергеев В.И., Карпов Б.В. Водоснабжение и очистка сточных вод предприятий черной металлургии (конспект лекций). - Днепропетровск: ДМетИ, 1973.
8. Теверовский Б.З. Очистка газов в черной металлургии. - Днепропетровск: Промінь, 1971.
9. Старк С.Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. - М.:Металлургия, 1977.
10. Златопольский А.Н., Бродянский В.М., Калинина Е.И. К оптимизации к. п. д. промышленных энергетических установок. Промышленная энергетика, 1973, №1, С. 41-44.
11. Ключников А.Д. Методика энергоэкономического анализа тепловых схем топливных печей. Известия вузов. Энергетика, 1973, №1, С. 120-128.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
1. Состояние черной металлургии Украины . . . . .	4
2. Энергохозяйство и обеспечение энергоресурсами . . . . .	6
2.1. Характеристика энергопотребления . . . . .	6
2.2. Характеристика ТЭЦ-ПВС и котельных . . . . .	6
2.3. Утилизация тепла и использование вторичных энергетических ресурсов . . . . .	7
2.4. Газовое, воздушное, кислородное и водное хозяйство . . . . .	8
2.5. Общие недостатки энергохозяйства отрасли . . . . .	8
3. Основные направления энергосбережения в черной металлургии . . . . .	9
3.1. Энергосбережение на действующих предприятиях . . . . .	9
3.2. Энергосбережение на создаваемых объектах . . . . .	10
3.3. Вторичные энергоресурсы . . . . .	11
4. Охрана атмосферы и водного бассейна . . . . .	12
4.1. Охрана атмосферы . . . . .	12
4.2. Охрана водного бассейна . . . . .	13
5. Энергоснабжение в чёрной металлургии . . . . .	14
5.1. Назначение теплоэнергетического хозяйства . . . . .	14
5.2. Энергозатраты в металлургическом производстве . . . . .	15
6. Энергоснабжение металлургического завода . . . . .	16
6.1. Схема энергоснабжения металлургического завода . . . . .	16
6.2. Топливо . . . . .	17
6.3. Электроэнергия . . . . .	18
6.4. Тепловая энергия . . . . .	18
6.5. Сжатый воздух . . . . .	18
6.6. Кислород . . . . .	18
6.7. Вода . . . . .	19
7. Тепловые электростанции и теплоснабжение металлургических заводов . . . . .	19
7.1. Конденсационные электростанции и теплоэлектроцентрали . . . . .	19
7.2. Показатели работы ТЭЦ . . . . .	21
7.3. Топливо, используемое на ТЭЦ . . . . .	21
7.4. Водоподготовка . . . . .	21
7.5. ТЭЦ как источник теплоснабжения . . . . .	22
8. Котельные и турбинные установки . . . . .	23

8.1.	Схема котельного агрегата . . . . .	23
8.2.	Тепловой баланс котельного агрегата . . . . .	25
8.3.	Топочные устройства котлов . . . . .	26
8.4.	Организация движения воды и пароводяной смеси . . . . .	27
8.5.	Турбинные установки . . . . .	29
9.	Производство сжатого воздуха . . . . .	30
9.1.	Использование, получение и транспортирование сжатого воздуха . . . . .	30
9.2.	Компрессорные машины . . . . .	32
10.	Очистка промышленных газов . . . . .	33
10.1.	Черная металлургия как источник загрязнения окружающей среды . . . . .	33
10.2.	Аппараты для сухой механической очистки газов . . . . .	33
10.3.	Электрофильтры . . . . .	36
10.4.	Мокрая очистка газов . . . . .	39
11.	Водоснабжение предприятий и очистка сточных вод . . . . .	40
11.1.	Водоснабжение металлургических заводов . . . . .	40
11.2.	Охлаждение воды в системах оборотного водоснабжения . . . . .	41
11.3.	Подача воды потребителям . . . . .	41
11.4.	Очистка сточных вод . . . . .	42
12.	Вторичные энергоресурсы чёрной металлургии . . . . .	43
12.1.	Источники вторичных энергоресурсов . . . . .	43
12.2.	Классификация ВЭР . . . . .	44
12.3.	Характеристика ВЭР . . . . .	44
13.	Основные направления использования ВЭР . . . . .	48
13.1.	Утилизация тепла готового продукта и шлаков . . . . .	48
13.2.	Утилизация тепла уходящих газов металлургических печей . . . . .	50
13.3.	Утилизация тепла охлаждения элементов печей . . . . .	51
13.4.	Котлы-утилизаторы . . . . .	52
14.	Энергетический аудит и энергетический менеджмент . . . . .	55
15.	Сравнительная экономическая эффективность вложений в теплоэнергетику . . . . .	61
	Литература . . . . .	64

Учебное издание

Хейфец Роберт Георгиевич  
Куваев Геннадий Николаевич

Теплоэнергетика металлургических заводов

Конспект лекций

Подписано к печати 18.04.2000. Формат 60x84 1/16. Бумага типогр.

Печать плоская. Уч.-изд.л. 3,52, Усл.печ.л. 3,48.

Тираж экз. Заказ №

Национальная металлургическая академия Украины,  
49635, Днепропетровск, пр. Гагарина, 4