ОПРЕДЕЛЕНИЕ К. П. Д. КОТЛА ПО ОБРАТНОМУ БАЛАНСУ

К. П. Д. парогенератора можно определить по обратному балансу - через тепловые по­тери. Из уравнения теплового баланса получим

**1 Потеря тепла с уходящими газами**

Потеря тепла с уходящими га­зами занимает основное место среди тепловых по­терь парогенератора и составляет (5…12) % располагаемого тепла топ­лива.

Этот вид потерь возникает из-за того, что **физическое тепло (эн­тальпия) газов ,** уходящих из парогенератора при темпера­туре , превышает физическое тепло поступающих в парогенератор воз­духа и топлива .

Потери теплоты с уходящими газами определяют по формуле, %,

где - абсолютная величина потерь, кДж/кг (или кДж/м3);

– располагаемая теплота топлива, кДж/кг (или кДж/м3).

Если пренебречь малым значением физического тепла топлива, а также теплотой золы (для твердого топлива), содержащейся в уходящих газах, по­теря тепла с уходящими газами может быть подсчитана по формуле, кДж/кг (или кДж/м3),

где - коэффициент расхода воздуха в уходящих газах;

– энтальпия холодного воздуха теоретически необходимого для сжигания единицы топлива, кДж/кг (или кДж/м3);

множитель - учитывает уменьшение объема газов вследствие механической неполноты сгорания топлива .

Энтальпия уходящих из парогенератора при темпера­туре газов, кДж/кг (или кДж/м3),

где , - энтальпии теоретического объема воздуха и продуктов сгорания, отнесенных к сжиганию единицы топлива, при температуре кДж/кг (или кДж/м3). Эти величины расчитываются по формулам:

где - теоретический объем воздуха при , м3/кг (или м3/ м3);

теоретические объемы продуктов сгорания (трехатомных газов, азота и водяных паров) при , м3/ м3;

- удельные энтальпии воздуха, трехатомных газов, азота и водяных паров, кДж/м3.

Из анализа выражений (2) – (5) следует вывод - величина потери тепла с уходя­щими газами зависит от **объема, а так же со­става продуктов сгорания и от темпера­туры уходящих газов,** т.е.

**1. Отношение** , характеризую­щее качество топлива, показывает относительный выход продуктов сго­рания (при ) на единицу теп­лоты сгорания топлива и зависит от содержания в нем балластных составляющих (влаги и золы - для твердого и жидкого топлива, азота *N2*, двуокиси углерода *СО2* и кислорода *O2* — для газового топ­лива). С увеличе­нием содержания в топливе балласт­ных составляющих и, следовательно, величины потеря тепла с ухо­дящими газами возрастает.

**2.** Одним из возможных направлений снижения потери тепла с уходящими газами является **уменьшение коэффициента расхода воздуха в уходящих газах** . Величина зависит от коэффициента расхода воздуха в топке и воздуха, присосанного в газоходы котла

С уменьшением потеря тепла снижается, однако при этом в связи с уменьшением количества воздуха, подаваемого в топочную ка­меру, возможно появление другой потери тепла - от химической неполноты сгорания топлива . Оптимальная величина выбирается с учетом достижения минимального суммарного значения + (см. рис. 1).

|  |  |
| --- | --- |
| D:\media\image1.jpeg | Рисунок 1 - К определению коэффициента рас­хода воздуха в топке. |

Возможность уменьшения зави­сит от рода сжигаемого топлива и типа топочного устройства. При сжигании газового топлива коэффициент расхода воздуха в топке принимают при сжигании мазута , пылевидного топ­лива 5 – 1,25; кускового топлива .

Присосы воздуха по газовому тракту парогенератора () практически принимают равными .

**3.** Важнейшим фактором, влияющим на ., является **температура уходящих газов** Сниже­ние , достигается установкой в хво­стовой части котла тепло­использующих поверхностей водяного экономайзера и воздухоподогревателя.

Чем ниже температура уходящих газов и соответственно меньше температурный напор между газами и нагреваемым рабочим телом (питательная вода или воздух), тем большая поверх­ность требуется для охлаждения газа на одну и ту же величину. Повышение же температуры уходящих газов при­водит к увеличению потери с и, следовательно, к дополнительным затратам топлива на выработку одного и того же количества пара. В связи с этим оптимальная температура определяется на основе технико-экономических расчетов (см. рис. 2) при сопоставлении годовых затрат для теплоиспользующих поверхностей и топлива для различных значений

|  |  |
| --- | --- |
| D:\media\image1.jpeg | - затраты на топливо;  *H* –затраты на поверхнсти нагрева.  Рисунок 2 - К определению температуры уходя­щих газов. |

В ряде случаев снижение огра­ничивается возможностью внешней коррозии хвостовых поверхностей нагрева из-за конденсации на них водя­ных паров, содержащихся в продуктах сгорания. Температура уходящих газов не должна превышать температуру точки росы, значение которой во много определяется содержанием в дымовых газах окислов серы, т. е.

Температура уходящих газов промыщленных паровых котлов в зависимости от их прроизводительности, качества и стоимости топлива, температуры питательной воды и поступающего воздуха принимается равной (110…170) ºС и выше.

**2 Потеря тепла от химической не­полноты сгорания**

При горении топлива может происходить окисление не всей его горючей части. В результате этого в продуктах сгорания появляются элементы неполного сгорания топлива, которыми являются горючие газообразные составляющие (*СО*, *Н2*, *СН4*, СтНп...) плюс сажистый углерод С. Догора­ние этих горючих газов за преде­лами топочной камеры практически невозможно из-за относительно низ­кой их температуры.

Потерю тепла от химической не­полноты сгорания (химического недо­жога) расчитывают по формуле, %,

где - абсолютная величина потерь, кДж/кг (или кДж/м3);

– располагаемая теплота топлива, кДж/кг (или кДж/м3).

**Химическая неполнота сгорания топлива может явиться следствием**:

а) общего недостатка воздуха;

б) пло­хого смесеобразования;

в) малых раз­меров топочной камеры, что опреде­ляет недостаток времени для заверше­ния химических реакций;

г) низкой температуры в топочной камере, что приводит к снижению скорости выго­рания топлива.

Температурный режим в топке определяется удельным тепловым напряжением топочного объема, МВт/м3,

где - тепловая мощность, МВт;

- объем топки, м3.

Характер зависимости от величины по­казан на рисунке 3. В области низких значений (левая часть кривой) по­теря увеличивается в связи со снижением температурного уровня в топочной камере, что определяется увеличением потери тепла от наружного охлаждения при уменьшении расхода топлива В.

|  |  |
| --- | --- |
| D:\media\image1.jpeg | Рисунок 3 - Потери тепла от химической неполноты сгорания в зависимость от удельного теплового напряжения топочного объема |

Повышение (с увеличением расхода топлива) приводит к увеличению тем­пературного уровня в топке и сниже­нию . Однако после определенного значения (правая часть кривой) дальнейшее увеличение расхода топ­лива приводит к увеличению из-за уменьшения времени пребывания га­зов в объеме топки и невозможности завершения реакции горения.

Оптимальная величина , при которой потеря имеет мини­мальное значение, зависит от вида топлива, способа его сжигания и кон­струкции топки. Для современных то­почных устройств потери тепла от химической неполноты сгорания составляют (0…2) % при = (0,1…0,3) МВт/м3. В топочных устройст­вах, в которых обеспечиваются бла­гоприятные условия для интенсивного горения топлива, например в циклон­ных топках, величина достигает (3…10) МВт/м3 и более.

Потеря теплоты с химическим недожогом определяется количеством теплоты, содержащейся в продуктах неполного сгорания. кДж/кг (или кДж/м3),

где , , и т. д. – теплоты сгорания горючих газов, кДж/м3.

Объемы горючих газов , , и т. д. в продуктах сгорания в кубических метрах на единицу сжи­гаемого топлива определяют по ана­лизу газов на выходе из топки на со­держание в них *Н2*, %, *СО*, %, *СН4*, %, и т. д. по формулам, м3/кг (или м3/м3):

Объем сухих газов при сжигании твердого и жидкого топлив опреде­ляют по фор­муле, м3/кг,

а при сжигании газового топлива, м3/м3,

где , - содержание углерода и горючей серы в рабочей массе твердого или жидкого топлива, %;

, , , и т.д. – с содержание в продуктах сгорания двуокиси углерода, сернистого газа, окиси углерода, метана, %;

, , , , - содержание в исходном газовом топливе двуокиси углерода, окиси углерода, сероводорода, метана и различных углеводородов, %.

Для снижения потери тепла от хи­мической неполноты сгорания в то­почной камере стремятся повысить температурный уровень, применяя, в частности, подогрев воздуха, а так­же всемерно улучшая перемешивание компонентов горения.

**3 Потеря тепла от механической неполноты сгорания**

Потеря тепла от механической не­полноты сгорания связана с недожогом твердого топлива в топочной камере. Она может быть выражена в процентах от располагаемого тепла, %

где - абсолютная величина потерь, кДж/кг;

– располагаемая теплота топлива, кДж/кг.

Не все топливо, поступающее в топку, полностью сгорает. Часть его в виде горючих частиц, содержащих углерод, водород, серу, может уноситься газообразными продуктами сгорания, часть - уда­ляться вместе со шлаком. При слое­вом сжигании возможен также провал части топлива через прозоры колосни­ковой решетки. Теплота, содержащаяся в этих частях топлива. и составляет потери от механической не­полноты сгорания. Таким образом, по­теря тепла от механической неполноты сгорания для слоевых топок состоит из трех слагаемых (провала, шлака и уноса), кДж/кг

а при камерном сжигании угольной пыли, кДж/кг

где - потери тепла с провалом, кДж/кг;

- потери тепла со шлаком, кДж/кг;

- потери тепла с уносом, кДж/кг.

Расчет потери тепла от механической неполноты сгорания ведется на основе золового баланса котельной установки.

При камерном сжигании 1 кг угольной пыли (см. формулу (11)) зола топлива распределяется следующим образом, доли единицы

где – доля золы топлива в шлаке;

- доля золы топлива в уносе.

Потери тепла от механической неполноты сгорания топлива в уравнении (12) подсчитывают по формулам, кДж/кг:

где – содержание горючихв шлаке и уносе, %;

– содержание золы в рабочей массе топлива, %;

– теплота сгорания горючих элементов в шлаке и в уносе, кДж/кг.

Содержание горючих сединений в шлаке и уносе определяют лабораторным способом в отобраных от шлака и уноса средних пробах. На содержании горючих в шлаке и уносе сказывается тонина помола топлива, температурный режим и аэродинамика топочного устройства.

Долю золы топлива в уносе определяют отбором пробы летучей золы в дымовых газах, при этом долю золы в шлаке определяют из уравнения золового баланса (12)

Для расчетов теплоту сгорания горючих веществ в шлаке, провале и уносе условно считают равными. Ее принимают несколько меньшей величины, чем теплота сгорания чистого углерода, кДж/кг

При сохранении оптимальной тонкости размола пы­ли и нормальных условиях эксплуатации потери зависят от избытка воздуха в топке и существенно меняются с изменением выхода летучих веществ (см. рис. 4).

|  |  |
| --- | --- |
| D:\media\image1.jpeg | Рисунок 4 - Потери теплоты с механическим недожогом топлива при твердом шлакоудалении из топочной камеры |

При избытке воздуха ниже оптимального рост недожога определяется неполнотой перемешивания топлива с воз­духом на выходе из горелки и развитием зон с не­хваткой кислорода, хотя температурный уровень горе­ния высокий. При наблюдается снижение тем­пературы в зоне горения и замедление реакций окис­ления, одновременно уменьшается время пребывания частиц в высокотемпературной зоне ввиду увеличения объема продуктов сгорания. Оба эти фак­тора приводят к возрастанию недожога топлива.

Повышенные потери у низкореакционных топлив (антрацит, полуанграцит) определяются поздним вос­пламенением коксовых частиц и затянутым горением в диффузионной области. В связи с этим указанные топлива чувствительны к режиму эксплуатации. В качестве примера на рисунке 5 показано влияние на величину потерь температуры горячего воздуха.

|  |  |
| --- | --- |
| D:\media\image1.jpeg | Рисунок 5 - Зависимость потерь теплоты с ме­ханическим недожогом топлива от температу­ры горячего воздуха |

**4 Потеря теплоты от наружного охлаждения**

Эта потеря определяется тем, что обмуровка и обшивка котла и его элементы: барабан, коллекторы, трубопроводы, имея более высо­кую температуру, чем температура окружаю­щего воздуха, отдают ему часть теплоты. В общем виде потерю , кДж/кг, можно вы­разить следующей формулой

где - наружная поверхность стен котла и его высокотемпературных элементов, м2; - коэффициенты теплоотдачи конвекцией и излучением, кВт/(м2·К); - соответст­венно средняя температура поверхности теп­лоотдающих стен и температура окружающего воздуха, °С.

Потеря от наружного охлаждения будет тем больше, чем выше температура обмуров­ки и тепловой изоляции.

Абсо­лютная потеря теплоты в окружающую среду для котлов разной номинальной мощности определяется отношением .

Потери теплоты от наружного охлаждения котельного агрегата пропорцио­нальны его тепловой мощности (т. е. выра­ботке им тепла). Так как ко­личество тепла, вносимое в котельный агрегат в единицу времени, примерно пропорционально его произ­водительности, то потеря теплоты от наружного охлаждения, выраженная в процентах от рас­полагаемого тепла, %,

будет тем больше, чем меньше производи­тельность котла.

Значения , при номинальной паропроизводительности котельных агрегатов представ­лены на рисунке 6.

|  |  |
| --- | --- |
| D:\media\image1.jpeg | Рисунок 6 - Потери тепла от наружного охлаждения котельных агрегатов |

При нагрузках котла, отличающихся от номинальной, потеря тепла от наружного охлаждения рассчитывается по формуле, %,

где - номинальная паропроизводительность котельного агрегата, т/ч;

- паропроизводительность котла, отли­чающаяся от номинальной, т/ч;

- потери тепла от наружного охлаж­дения при номинальной нагрузке котла, %.

Потери тепла от наружного охлажден распределяются между отдельными газоходами котельного агрегата. Для упрощения расчетов принято считать, что потери тепла в окружающую среду отдельными газоходами котла прямо пропорциональны количествам тепла, отдаваемым продуктами сгорания поверхностям нагрева в соответствующих газоходах. Поэтому при определении количества тепла, отданного продуктами сгорания топлива поверхностям нагрева, учет потери тепла от наружного охлаждения производят путем введения коэффициента сохранения теплоты, равного

где - коэффициент полезного действия котельной установки брутто,%.

При проведении балансовых испытаний парового котла величину обычно определяют из уравнения теплового баланса, %,

**5 Потери тепла со шлаком**

В слоевых и пылеугольных топках с сухим шлакоудалением температура шлака достигает 600 - 700 °С. В топках с жид­ким шлакоудалением температура шлака примерно на 100 °С выше температуры начала жидкоплавкого состояния .

Потеря с физическим теплом шлака, %,

где — физическое тепло шлака, кДж/кг, подсчитывается по формуле

где - температура шлака, **°**С;

— доля золы топлива в шлаке;

- средняя теплоемкость шлака от 0 **°**С до , кДж/(кг·К);

- содержание золы в рабочей массе топлива, %.

В слоевых топках доля золы топлива, содер­жащаяся в шлаке , достаточно велика и поэтому потеря с физическим теплом шлаков составляет = 0,5 - 1,5 °/0.

В топках с жидким шлакоудалением по­теря с физическим теплом шлака еще больше, так как температура жидкого шлака дости­гает очень высоких значений (порядка 1 300 -- 1 600 °С). В циклонных топках (ашл – 85 – 90 %) потеря с физическим теплом шлаков может достигать соответственно 1 – 5 °/0.

Потеря с физическим теплом шлака в ко­тельных агрегатах с камерными топками и сухим шлакоудалением для топлив с приве­денной зольностью составляет вели­чину < 0,2 %. Поэтому при составлении теплового баланса котла в этом случае учитывают только для топлив с зольностью .