**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ «ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ»**

Цель работ: наблюдение и определение тепловых характеристик парогенератора на физической модели.

Используемое оборудование:

1. Стационарное оборудование: тепловая модель парогенератора с электросчетчиком, приборами для измерения давления и температуры пара, регулирующей арматурой и конденсатором.

2. Приборы, получаемые студентами при выполнении работы: мультиметр, секундомер и мерная емкость для измерения объема конденсата.

Общие сведения

Котельные установки состоят из котла и вспомогательного оборудования, связанных единой технологической схемой. К вспомогательному оборудованию относятся устройства топливоподачи, питательные насосы, вентиляторы, дымососы, золоуловители, паропроводы, водопроводы и др. По назначению котлы можно разбить на несколько групп:

- энергетические (или парогенераторы) - предназначены для выработки пара в составе паротурбинных установок, обладающие высокой единичной паропроизводительностью, повышенными параметрами пара, высокой надежностью и экономичностью;

- промышленные паровые котлы - вырабатывают пар для технологических нужд промышленности;

- отопительные котлы - производят пар и горячую моду для отопления промышленных, жилых и общественных зданий;

- водогрейные котлы - предназначены для получения горячей воды с давлением выше атмосферного;

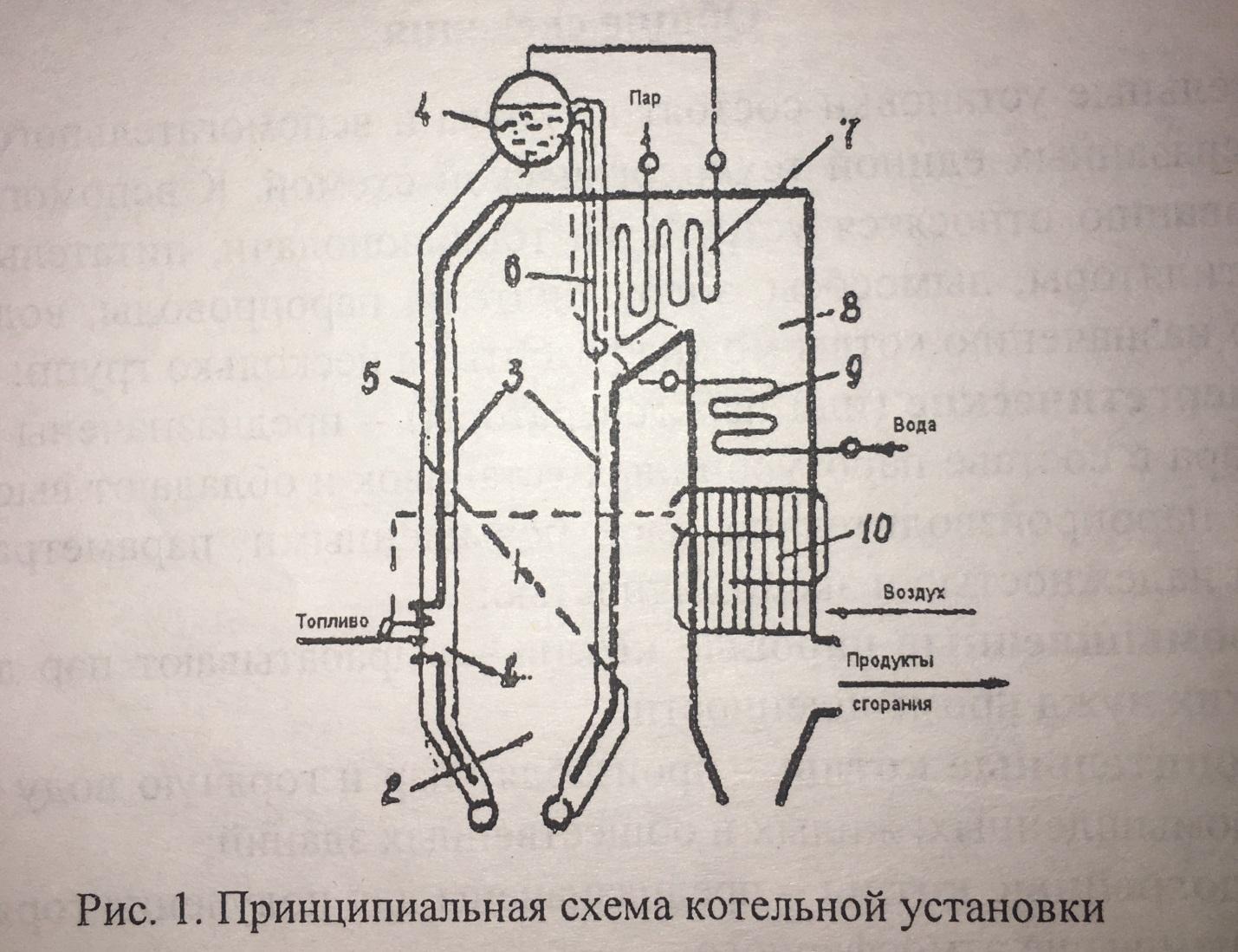
- котлы утилизаторы н энерготехнологические агрегаты - используют физическое и химическое тепло вторичных энергетических ресурсов металлургического, химического и других производств.

По давлению котлы подразделяют на: котлы низкого давления (до 1 МПа), среднего (1-10 МПа), высокого (10-18 МПа), сверхвысокого (18-20 МПа) , сверхкритического (более 22,5 МПа) и ульстрасверхкритического (суперсверхкритического) (более 30 МПа).

По способу циркуляции воды выделяют котлы: с естественной и многократной принудительной циркуляцией, а также прямоточные.

Котельный агрегат с П-образной компоновкой (рис. 1) состоит из подъемного 2 и опускного 8 газоходов. Подъемный газоход представляет собой топку для сжигания топлива, на стенках которой установлены испарительные поверхности нагрева 3 в виде плоских трубчатых панелей, называемых экранами. В опускном газоходе расположены водяной экономайзер 9 и воздухоподогреватель 10 для подогрева воздуха, идущего на горение топлива в топке. В соединительном газоходе расположены фестон 6, представляющий собой разреженный пучок труб, являющийся продолжением заднего экрана, и пароперегреватель 7, обеспечивающий требуемую потребителем температуру пара.

Испарительные поверхности 3 сообщаются с барабаном котла 4 и вместе с опускными трубами 5, соединяющими барабан с нижними коллекторами экранов, составляют циркуляционные контуры. Пароводяная смесь в барабане разделяется на насыщенный пар и воду, пар направляется в пароперегреватель, а вода снова в циркуляционные контуры. Циркуляция воды и пароводяной смеси в контурах происходит за счет разности плотностей воды в опускных трубах и пароводяной смеси в подъемных трубах - экранах (естественная циркуляция).



Топливо вместе с горячим воздухом через горелки 1 подается в топочную камеру 2, где сжигается в виде факела. Продукты сгорания из топочной камеры направляются в пароперегреватель, экономайзер и воздухоподогреватель и через газоочистку удаляются в атмосферу.

Существуют различные конструктивные оформления котельных агрегатов, схемы которых отличаются от рассмотренной. Так, сжигание топлива может осуществляться в слое, циркуляция воды и пароводяной смеси в испарительной системе котла может быть принудительной с помощью специальных насосов, а водяной экономайзер и воздухоподогреватель могут располагаться в несколько ступеней и т.д.

Выделяют основные параметры работы котла:

1. Номинальная производительность котла D кг/с, является наибольшей паропроизводительностью, которую должен обеспечить котел при длительной эксплуатации, при сжигании основного топлива, при соблюдении номинальных параметров пара и питательной воды.
2. Номинальное давление Р, МПа, и температура пара, °С, - абсолютное давление и температура пара, принятые при проектировании котла, которые должны обеспечиваться непосредственно за паросборной камерой пароперегревателя при номинальной паропроизводительности котла.

Обозначение паровых котлов с естественной циркуляцией имеет букву Е, прямоточных - букву П, с принудительной циркуляцией - Пр. Если котел имеет промежуточный перегрев, то в обозначениях добавляется буква П. За буквами следуют цифры, первая из которых обозначает паропроизводительность котла, т/ч, а вторая - давление, атм. Если дополнительные обозначения отсутствуют, то принимается, что топка открытая, камерная и с твердым шлакоудалением . Для других условий к упомянутым обозначениям добавляются индексы: Ж - топка с жидким шлакоудалением; В - вихревая топка; Ц - циклонная топка; Р - решетка (слоевая топка); Г- газ; М - мазут; Н - котел под наддувом.

Тепловой баланс котельного агрегата обычно составляют на 1 кг твердого и жидкого топлива или на 1 м газообразного топлива. Приходная часть теплового баланса представляет собой располагаемое тепло , МДж/кг или МДж·м3, равное низшей теплоте сгорания топлива , при отсутствие других статей приходного баланса:

(1)

Расходная часть теплового баланса содержит полезное тепло выработанного пара и различные потери :

(2)

Теплота, полезно затраченная на выработку пара [1], определяется по уравнению:

, (3)

где D -выход пара, кг/с;

В - расход топлива, кг/с или м3/с;

- энтальпии перегретого пара и питательной воды, кДж/кг.

Остальные слагаемые в уравнении (2) представляют собой тепловые потери, отнесенные к единице сжигаемого топлива, МДж/кг или МДж/м3.

Таким образом, уравнение теплового баланса котла может быть записано в следующем виде:

(4)

Отношение количества теплоты, затраченного на выработку пара D·() (в МВт), к теплоте, выделенной в топке (в МВт), представляет собой КПД котельного агрегата, %:

(5)

Часовой расход топлива определяют по формуле:

(6)

Расчет КПД котельной установки по непосредственному измерению часовых выработок пара и расходу топлива называется определением по методу прямого баланса [1-2].

При определении КПД котла по методу прямого теплового баланса необходимо оценивать погрешность измерения. Поскольку количество насыщенного пара, отбираемого из котла, составляет небольшую долю общей паропроизводительности (до 3 %), а теплота на подогрев продувочной воды обычно не превышает 0,5-1 % от полезно израсходованной теплоты, то уравнение прямого баланса может рассматриваться в следующем виде:

(7)

Вероятная абсолютная погрешность % (абс.) определения КПД котла по прямому балансу пропорциональна КПД котла и может быть рассчитана по формуле

, (8)

а относительная погрешность , %, определяется из уравнения:

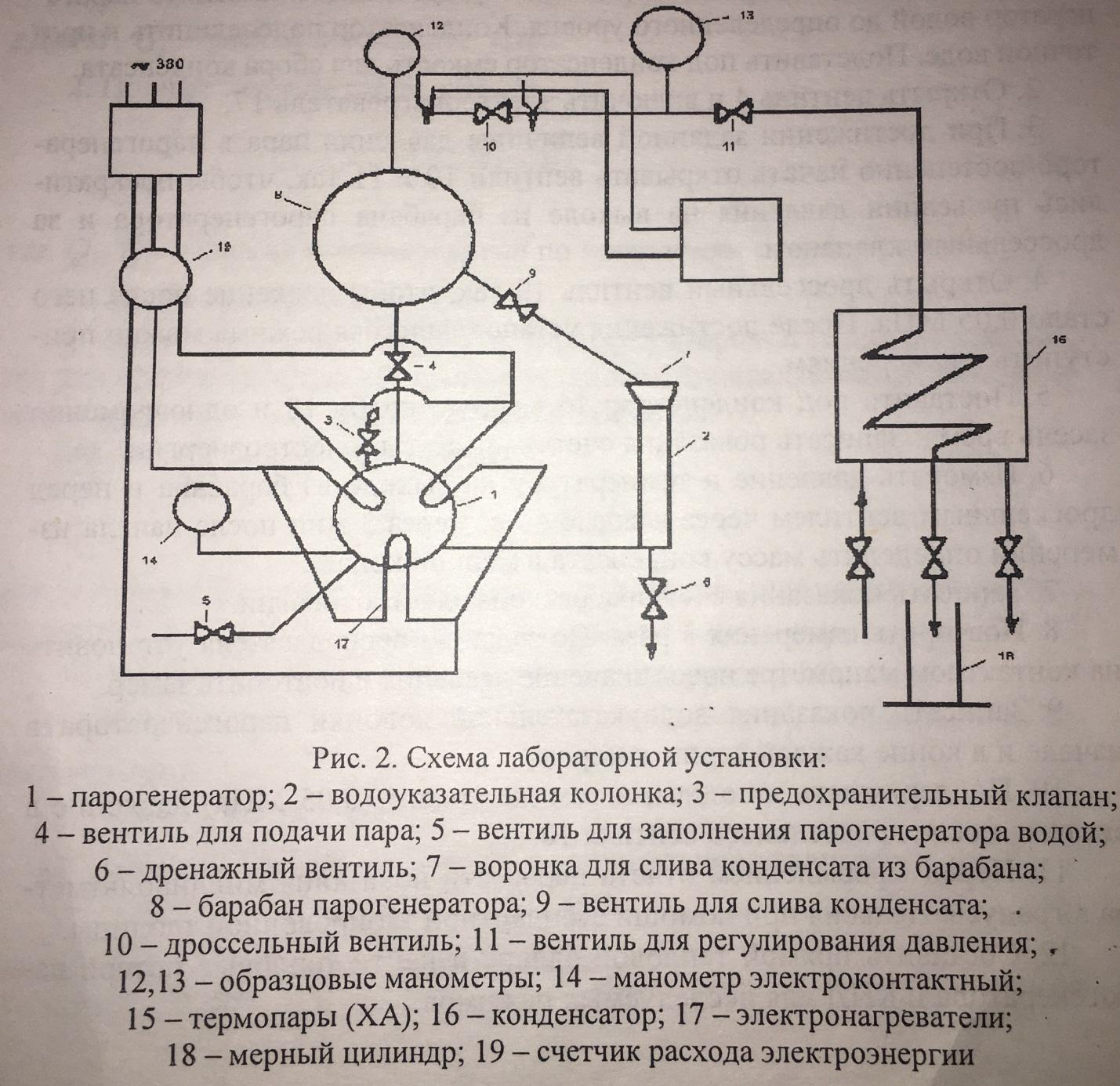
(9)

В уравнении (9) максимальную долю в общую погрешность вносят погрешности определения расхода топлива и питательной воды. Вероятная относительная погрешность прямого баланса по данным [1] составляет = 3,3 - 5,0 % для котлов на твердом топливе и 1,5-3,0 % - для котлов на жидком и газовом топливе. Сопоставление погрешностей обратного и прямого баланса показывает, что для котлов на газовом или жидком топливе, имеющих КПД брутто до 80 %, и на твердом топливе - до 75 %, долее точное определение обеспечивает прямой баланс, а при более высоких КПД - обратный баланс [3, 4].

**Описание лабораторной установки**

Экспериментальная установка (рис. 2) состоит из электрического парогенератора 1, конденсатора 16 и системы контрольно-измерительных приборов. Из водопровода через вентиль 5 вода заливается в парогенератор, где с помощью электронагревателя 17 она превращается в пар. Далее через вентиль 4 пар поступает в барабан парогенератора 8. Парогенератор снабжен предохранительным клапаном 3, который отрегулирован на давление 0,22-0,24 МПа. Для слива конденсата из барабана котла в воронку имеется специальный сливной кран 9.

Из барабана котла влажный насыщенный пар выходит через дроссельный вентиль 10. Вентиль 11 служит для поддержания в системе некоторого избыточного давления. Сдросселированный пар проходит через конденсатор поверхностного охлаждения 16 и образовавшийся конденсат собирается в мерном цилиндре 18.



В установке используются контрольно-измерительные приборы, служащие для определения температуры (мультиметр) и давления пара на различных участках, а также мощности трубчатого электронагревателя (электросчетчик). Для измерения времени накопления конденсата в мерном цилиндре 18 служит секундомер.

**Лабораторная работа № 1**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КПД КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА**

Цель работы: экспериментальное изучение КПД котла методом прямого теплового баланса.

План выполнения работы

1 . Перед выполнением работы необходимо внимательно ознакомиться с оборудованием установки. Закрыть все краны и вентили. Залить парогенератор водой до определенного уровня. Конденсатор подсоединить к проточной воде. Подставить под конденсатор емкость для сбора конденсата.

2. Открыть вентиль 4 и включить электронагреватель 17.

З. При достижении заданной величины давления пара в парогенераторе постепенно начать открывать вентили 10 и 11 так, чтобы прекратились пульсации давления на выходе из барабана парогенератора и за дроссельным клапаном.

4. Открыть дроссельный вентиль 10 так, чтобы давление после него стало 0,05 МПа. После достижения установившегося режима можно приступить к измерениям.

5. Поставить под конденсатор 16 мерную колбу 18 и одновременно засечь время. Записать показания счетчика расхода электроэнергии.

6. Измерять давление и температуру на выходе из барабана и перед дроссельным вентилем через каждые 60 с. Через 3 мин после начала измерений определить массу конденсата в мерной колбе.

7. Записать показания счетчика расхода электроэнергии.

8. Повторить измерения 3 раза. По заданию преподавателя установить на контактном манометре новое значение давления и повторить замер.

9. Записать показания водоуказательной колонки парогенератора в начале и в конце каждой серии замеров.

1 0. Поддерживать на одном и том же уровне (0,05 МПа) давление в системе после дроссельного вентиля 10.

11. Составить прямой тепловой баланс и найти тепловые потери парогенератора и КПД для исследуемых режимов.

12. Настроить зависимость паропроизводительности D парогенератора от удельной электрической мощности , и КПД парогенератора от паропроизводительности, где— электрическая мощность парогенератора, кВт; - средняя масса жидкости в парогенераторе во время каждой серии экспериментов, определяемая по водоуказательной колбе, кг.

14. Определить потери теплоты парогенератором расчетным путем, сопоставив с величиной потерь, найденных из теплового баланса, определить величину невязки.

Расчетная часть

1. Полезные затраты тепла

(10)

где = – расход пара, кг/с;

— энтальпия пара при давлении Р перед редукционным клапаном, кДж/кг;

- расход конденсата, кг/с.

2. Полные затраты тепла, кВт,

(11)

— расход электроэнергии по показаниям счетчика, кВт·ч;

τ — время эксперимента, ч.

3. Количество теплоты, теряемое парогенератором в окружающую среду, для промышленных котельных установок определяется по номограммам в зависимости от производительности котла. Для лабораторного парогенератора:

(12)

где α - коэффициент теплоотдачи для условий свободной конвекции, кВт/м2·°С; = , —средняя температура стенки парогенератора, °С; —температура воздуха вдали от парогенератора, °С; F —поверхность теплообмена F =;—поверхность парогенератора, м2; —поверхность барабана, м2.

Для нахождения α используется критериальное уравнение:

Nu=c·(Gr·Pr)n (13)

где Gr = g·β—критерий Грасгофа;

Рг = v/а — критерий Прандтля.

Значения кинематической вязкости v, м2/с, температурного коэффициента объемного расширения β, К-1, коэффициента температуропроводности а, м2/с, и коэффициента теплопроводности воздуха λ, Вт/м·°С, принимаются при средней температуре по формулам:

v = 5,1·10-5·t2+0,115·t + 13.2)·10-6;

β = 1,37·10-8·t2 – 1,45·10-5·t+0,0047;

a = (7,71·10-6·t2 + 0,015·t +1,76)·10-5;

λ = -2,58·10-8·t2 + 7,86·10-5·t + 0,023.

В диапазоне значений произведения 103 < Сr·Рr < 109 коэффициент С в уравнении (13) аппроксимируется уравнением:

С = 1,54·10-4· Рr3 - 0,017 Рr2 + 0,181 Рr + 0,971, (14)

где степень n = 0,25.

Коэффициент теплоотдачи для условий свободной конвекции определяется по уравнению:

, (15)

где — средний диаметр парогенератора и барабана, м2.

Определить потери теплоты для двух условий: при температурах = 10 °С и = 50 °С, а также при = 25°С и = 80 °С.

4. Определить удельную электрическую нагрузку парогенератора, кВт/кг:

(16)

где — электрическая мощность парогенератора, кВт; — масса нагреваемой воды, кг.

Порядок оформления отчета

Отчет по работе должен содержать следующее: 1) название и цель работы; 2) краткий конспект теоретического введения; 3) описание схемы установки; 4) порядок выполнения работы; 5) результаты измерений и расчетов (см. приложение); 6) выводы по работе (объяснить полученные зависимости).

**Лабораторная работа №2**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД КОТЛА И РАСХОДА TOПЛИВА**

Цель работы: изучение методики ускоренного расчета парового котла на основе экспериментальных данных.

План выполнения работы

Электрическая мощность котла принимается из лабораторной работы №2 в диапазоне = 6-9 кВт. Паропроизводительность по насыщенному пару для электрокотла с КПД равна: , где - - энтальпии сухого насыщенного пара и питательной воды, кДж/кг, на кривой насыщения при давлении Р = 0,2 МПа и температуре 120 °С.

**Необходимо определить расчетный расход топлива для эквивалентного по паропроизводительности топливного котла.**

Исходные данные для расчета: вид сжигаемого топлива - каменный уголь Кузнецкого месторождения (марки 2СС); низшая теплота сгорания- = 24,6 МДж/кг; основные компоненты рабочей массы, %: 64,1; = 3,3; = 18,2; = 9,0; температура топлива = 200 °С; подогрев воздуха = 350 °С; температура холодного воздуха = 20 °С; температура уходящих газов = 130 °С; коэффициент избытка воздуха в уходящих газах = 1,4; объемы компонентов продуктов сгорания, м3/кг: трехатомных газов = 1,2, азота = 5,16; доли золы в шлаке и уносе, определяемые взвешиванием и из золового баланса ( + = 1), где = 0,2 и = 0,8; теплоемкость шлака при его температуре = 1380 °С; = 2,42·10-4· + 0,79 [кДж/(кг·К)]; содержания горючих соответственно в шлаке и уносе, определяемые взвешиванием и дожиганием лабораторных проб: = 30 % и = 50 %; объемное содержание продуктов неполного сгорания в уходящих газах, %: СО = 0,5, = 0,3, = 0,1. Расчет проводится по методике ускоренного теплового расчета котла [4]:

1. Теоретически необходимый расход воздуха, м3/кг:

= 0,263· + 0,007· = 0,0889· + 0,265·/3,7; в МДж/кг.

1. Коэффициент, учитывающий различие низшей и располагаемой теплоты сгорания топлива:

= 1 + (0,055· + 0,35·Δ)· 10-3.

1. Располагаемая теплота, MДж/кг:

=

1. Энтальпия теоретического объема воздуха, кДж/кг:

[1,32 + 0,122·()].

1. Потери теплоты с уходящими газами, %:

= { [ 1 - ()]( } /,

где в кДж/кг.

1. Потери теплоты (недожог) от механической неполноты сгорания, %:

= {[ /(100 -)] + [ · /(100- )]}·32,7· 100/,

где в кДж/кг.

1. Объем сухих газов (м3/кг):

= +(.

1. Потери теплоты (недожог) от химической неполноты сгорания топлива, %:

= (126,4·СO + 108 + 358,2) (100 - )·100/,

где в Дж/кг.

9. Потери теплоты в окружающую среду, %, в зависимости от номинальной нагрузки ,кг/с:

1. Потери теплоты в окружающую среду при неноминальной нагрузке D:
2. Потери теплоты с физической теплотой шлака:

,

где в кДж/кг.

1. КПД котла брутто, %:

= 100 - (

1. Коэффициент сохранения теплоты:
2. Расход топлива, подаваемого в топку В, кг/с:

В =

1. Расчетный расход топлива, кг/с:

= В·[1 - (/100)].

Порядок оформления отчета

Отчет по работе должен содержать следующее:

1) название и цель работы; 2) краткий конспект теоретического введения; 3) описание схемы установки; 4) порядок выполнения работы; 5) результаты измерений и расчетов (см. приложение); 6) выводы по работе (объяснить полученные зависимости).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как составляется тепловой баланс и находится КПД парового котла?

2. Как определяются тепловые потери котла?

3. Что такое КПД брутто и КПД нетто котла?

4. Объяснить методологию прямого и обратного теплового баланса.

Приложение

Таблица 1. Результаты экспериментального исследования парогенератора

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер серии замеров | Время опыта τ, мин | Среднее давление в парогенераторе Р, МПа | Давление пара перед дроссельным вентилем , МПа | Температура пара tп, °С | Энтальпия пара iп, кДж/кг | Расход конденсата Gк, кг/с | Расход электроэнергии Qэ’ Qэ”, кВт·ч  кВтч |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 2. Тепловые характеристики парогенератора

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер серии | Расход пара Gп, кг/с | Полезные затраты тепла Qп, кВт | Полные затраты тепла Qпол, кВт | Потери теплоты (эксперимент) , кВт | Невязка теплового баланса  δ,% | КПД парогенератора  η, % |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |

Список литературы

* + - 1. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова. ЯМ.: Энергия, 1973. 296 с.
      2. Ковалев А.П. Парогенераторы. М.: Энергоатомиздат, 1985. 396 с.
      3. Парилов В.А., Ушагов С.Г. Испытания и наладка паровых котлов. М.: Энергоатомиздат, 1986, 320 с.
      4. Липов Ю.М. Ускоренный тепловой расчет парового котла. М.: Изд-во МЭИ, 1982. 60 с.