Библиотека СОК



Министерство высшего и среднего образования РФ

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

# КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

# БАЛАНСОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПАРОВЫХ И ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

Методические указания к лабораторным работам по разделу "Методика испытаний котлов" для студентов специальностей 100500, 100700, 101600 дневной формы обучения

Саратов-2005

Содержание

Введение . . . . . 3
1. Общие положения . . . . . 4
2. Краткое описание макета котлоагрегата . . . . . 6
3. Описание электрической модели……..7
4. Описание замеров и измерительных приборов парового котла……..…10
5. Описание замеров и измерительных приборов водогрейного котла……..12
5.1. Описание водогрейного котла……...12
5.2. Описание замеров и приборов водогрейного котла……13
6. Определение КПД брутто котла методом прямого баланса……14
7. Определение КПД нетто котлоагрегата……16
8. Определение КПД брутто котла методом обратного баланса……17
9. Определение коэффициента избытка воздуха по анализу продуктов сгорания……..18
10.Определение тепловых потерь котла……19
11.Составление отчета по лабораторной работе……20
12.Указание по технике безопасности……20
Литература……..22

# ВВЕДЕНИЕ

В котельных установках сжигается более 30% всего добываемого органического топлива. В этих условиях большое народнохозяйственное значение приобретают вопросы экономичного использования топлива в котельных установках. Здесь наряду с эффектом от внедрения новой техники значительная экономия топлива может быть достигнута за счет повышения эффективности использования оборудования, в достижении чего важную роль играют теплотехнические испытания котлов.

Студенты специальностей ПТЭ, ТЭС и ТГС должны иметь представление о целях и задачах теплотехнических испытаний паровых и водогрейных котлов, быть знакомы с вопросами организации и проведения таких испытаний.

При проведении балансовых испытаний котлоагрегата необходимо иметь ясное представление обо всех видах органического топлива, знать основные качественные особенности его, владеть методами технического и ситового анализа топлива, уметь определять теплоту сгорания топлива и состав дымовых газов. Поэтому предварительно необходимо освоить вышеперечисленный материал на лабораторных работах и ознакомиться с организацией и методикой замеров при балансовых испытаниях котлоагрегата на тренировочном стенде.

Составление теплового баланса, определение КПД брутто котла в результате балансовых испытаний позволяют оценить экономические показатели работы котлоагрегата, а также создают предпосылки к путям их совершенствования.

Учитывая, что шкалы теплотехнических контрольно-измерительных приборов стационарных и лабораторных установок в настоящее время ещё сохраняют градуировку в единицах физических величин, основанных главным образом на килограмм-силе и калории, в данных указаниях могут использоваться эти единицы величин. Для возможности выполнения расчетов и оформления отчетов по лабораторной работе в системе единиц СИ ниже приводятся наиболее употребительные в теплотехнике соотношения между единицами измерения.

Давление:

1 кгс/см$^2$ = 0,0980665 МПа $\approx$ 0,1 МПа;

1 ат = 760 мм. рт.ст. = =1,01325 $*$ 10$^5$ Н/м$^2$.

Количество теплоты:

1 ккал = 4187 Дж;

1 Дж = 0,23885 $*$ 10$^{-3}$ ккал.

Энтальпия (удельная):

1 ккал/кг = 4,187 кДж/кг.

Теплоемкость (удельная):

1 ккал/(кг $*$ град) = 4,187 кДж/(кг $*$ К);

1 Дж/(кг $*$ К) = 0,23885 $*$ 10$^{-3}$ ккал/(кг·К).

# 1 Общие положения

Теплотехнические испытания котлоагрегатов могут проводиться при стационарных и нестационарных режимах.

Испытания при нестационарных режимах проводятся для определения и выбора оптимальных маневренных характеристик котлов (продолжительность растопок и остановов, подъема и сброса нагрузки, степени устойчивости котлоагрегатов и др.), проверки и отработки режимов сбросов нагрузки до холостого хода или нагрузки собственных нужд и т.д. В программу испытаний включаются опыты по проверке пуска установки из различных тепловых состояний, по режимам останова с расхолаживанием и без расхолаживания оборудования. Поэтому для организации и проведения таких испытаний требуется осуществление в ряде случаев специальных мероприятий.

При проведении испытаний с целью отработки пусковых режимов неприемлемо условие полного установившегося теплового состояния оборудования и точного сведения теплового баланса. Погрешность определения потерь тепла на отдельных этапах пуска и останова котлов может быть $\pm$(20 - 25)%. К настоящему времени методики испытаний при переходных режимах еще недостаточно отработаны.

Испытания при стационарных режимах. Теплотехнические испытания котлов в зависимости от поставленных задач могут быть разделены на две группы:

1. Испытания, проводимые с целью определения теплотехнических характеристик работы котла (КПД, паропроизводительности, потерь тепла т.д.), выявления их эксплуатационных особенностей и недостатков конструкций.

2. Испытания, проведение которых вызывается необходимостью обработки или проверки новых конструкций, их элементов, использования новых закономерностей и т.д., т.е. имеющих исследовательский характер. Эти испытания не подлежат типизации и поэтому в дальнейшем не рассматриваются.

Испытания первой группы в зависимости от цели проводятся по трём категориям сложности:

а) к 1 категории сложности относятся приёмосдаточные (гарантийно-сдаточные) испытания, которые проводятся, как правило, для проверки гарантийных показателей работы установки. В этом случае проверяются: паропроизводительность, КПД, параметры пара, его качество, параметры работы вспомогательного оборудования, составляющие потерь тепла, воздушный баланс топки, тепловосприятие поверхностей нагрева в рабочем диапазоне нагрузок и др.

б) ко второй категории сложности относятся эксплуатационные (балансовые) испытания, проводимые для установления нормативных эксплуатационных характеристик при номинальных параметрах пара после реконструкции котлов, в связи с переходом на сжигание нового вида или новой марки топлива, и при систематическом отклонении параметров от нормативных. В задачи испытаний могут входить: выявление оптимальных значений коэффициента избытка воздуха, распределение воздуха и топлива по горелкам и их ярусам и т.п. при различных нагрузках котлоагрегата;

определение максимальной и минимальной нагрузки оборудования при различном составе работающего вспомогательного оборудования;
определение фактической экономичности агрегата и отдельных составляющих потерь тепла;
выявление причин превышения потерь тепла над расчетными значениями, разработка мероприятий по их уменьшению и достижению расчетного КПД;
определение аэродинамических характеристик газо-воздушного тракта;
составление типовой энергетической (нормативной) и расходной характеристик котлоагрегата, а также характеристики относительного прироста расхода топлива.

в) к III категории сложности относятся режимно-наладочные и доводочные испытания, проводимые с целью наладки режима работы котлоагрегата и определения его отдельных показателей; определение оптимальных значений коэффициентов избытка воздуха и тонкости пыли, оптимального распределения воздуха по горелкам, максимальной нагрузки при различном составе вспомогательного оборудования и др. По этой категории сложности проводятся и эксплуатационные испытания после типовых капитальных ремонтов котла с целью определения их качества и уточнения характеристик оборудования в результате проведения ремонтных работ.

Перечисленные виды испытаний различаются количеством опытов и точностью измерений основных показателей. Испытания по I и II категориям сложности проводятся при установившемся тепловом состоянии системы с обязательным сведением теплового баланса котлоагрегата. При этом предусматривается использование аппаратуры с повышенной точностью (класс 0,5 и 1,0).

Требование обязательного измерения расхода топлива, выполнимое для котлов средней и небольшой мощности невыполнимо при сжигании твёрдого топлива, особенно для установок, имеющих в системе пылеприготовления бункера пыли. Поэтому при испытаниях по всем категориям сложности КПД определяется по обратному балансу. Однако прямой метод определения КПД проще в тех случаях, когда он выполним. Точность по обратному балансу может быть более высокой, чем по прямому балансу, при условии определения всех потерь тепла от элементов котла: балок, деталей, организаций газоходов и т.п., а также при обработке материалов по полным, а не сокращённым методикам.

Требование поддержания постоянства заданной нагрузки котла перед опытом (время зависит от вида топлива и категории сложности) и во время опыта является обязательным по всем категориям сложности. Технический состав топлива (зольность, влажность, выход летучих и т.д.) должен соответствовать расчётному или среднеэксплуатационному.

В результате балансовых испытаний желательно определить КПД нетто котлоагрегата. КПД брутто котла представляет собой отношение количества полезно использованного тепла к подведённому. Он характеризует совершенство передачи тепла от топлива к воде или пару. КПД нетто учитывает расходы тепловой и электрической энергии на собственные нужды. Тепловой баланс

котлоагрегата, необходимый для определения его КПД, составляют на единицу количества топлива (1 кг или 1нм$^3$).

Общепринятая методика испытаний котлоагрегатов достаточно трудоемка и требует значительных затрат времени на проведение и обработку результатов испытаний (особенно при сжигании твердых топлив). Учитывая сложность и длительность балансовых испытаний, в дальнейшем материал будет излагаться применительно к котлоагрегатам, сжигающим жидкое или газообразное топливо. Кроме того, в зависимости от конкретных условий проведения балансовых испытаний и типа котла в общепринятую методику могут вноситься дополнительные изменения и упрощения.

Целью работы является знакомство студентов с организацией и методикой проведения балансовых испытаний парового или водогрейного котла, выбором точек замеров, установкой приборов и обработкой результатов.

В связи с большим объемом данной лабораторной работы она условно разбивается на три части:

1) изучение устройства котлоагрегата, установки приборов и необходимой документации при проведении испытаний на макете котлоагрегата типа ТП-170;

2) знакомство с электрической моделью теплового щита управления парового котла и приборами, установленными на ней; определение тепловых потерь котлоагрегата по данным замеров на модели и макете энергетического парового котла;

3) балансовые испытания водогрейного котла в котельной СГТУ и ОАО ″Сарэнергомаш″ и определение КПД брутто по методу прямого и обратного баланса.

## 2 Краткое описание макета котлоагрегата ТП-170

Котлоагрегат типа ТП-170 с естественной циркуляцией имеет П-образную компоновку, производительность 47,3 кг/с и параметры пара: давление - 98 бар, температура - 510 $^o$С.

Подогрев воздуха осуществляется в трубчатом воздухоподогревателе, расположенном в рассечку с водяным экономайзером.

Котлоагрегат типа ТП-170 работает на уровновешанной тяге, которая создается двумя дутьевыми вентиляторами (ДВ) и двумя дымососами (Д).

При работе котла на высокосернистом мазуте для повышения температуры перегретого пара до номинального значения и снижения местных тепловых потоков в топке используется рециркуляция газов в нижнюю часть топки. Дымовые газы отбираются за 1-ой ступенью водяного экономайзера и подаются через шлаковый «комод» в топку в количестве 10 - 25 % от общего объема газов одним или двумя вентиляторами рециркуляции дымовых газов (ВРДГ).

Перегрев пара осуществляется в потолочном пароперегревателе и двух ступенях перегревателя конвективного типа, размещенных в горизонтальном газоходе.

Макет котлоагрегата имеет небольшой тепловой щит, оснащённый приборами и задатчиком режима работы котла. С помощью задатчика можно варь-

ировать производительность, параметры пара, питательной воды и уходящих газов в допустимых пределах.

В процессе балансовых испытаний котла студенты снимают показания с эксплуатационного щита. При этом машинист может производить подрегулировку режима работы котла на заданной нагрузке. Поэтому необходимо предварительно ознакомить студентов с действующей электрической моделью управления энергетическим паровым котлом. На этой модели приборы и органы управления расположены аналогично тепловому щиту станционного газомазутного котлоагрегата.

## 3 Описание электрической модели.

Модель имитирует барабанный котел с естественной циркуляцией, работающий на мазуте. Котел оборудован шестью горелками, двумя дымососами и двумя вентиляторами; паровая и водяная магистрали однониточные. Номинальные значения параметров, имитируемых моделью, соответствуют параметрам парового котла типа ТГМ-84.

Модель выполнена переносной, устанавливаемой в виде панели, совмещаемой с пультом управления и с выносным пультом преподавателя. В качестве элементов, имитирующих взаимосвязь различных параметров котла (уровня воды в барабане от расхода пара и воды, давления пара перед главной паровой задвижкой от расхода топлива, воздуха, нагрузки и др.) использованы электрические схемы, выходными элементами которых служат микроамперметры. Шкала микроамперметров градуирована в единицах измерения соответствующего параметра (кгс/см$^2$, т/ч, $^o$С и др.). Управление и все переключения на пульте модели осуществляется с помощью тумблеров.

На пульте управления модели установлены следующие тумблеры для включения сети, двигателей дымососов ″А″ и ″Б″, двигателей вентиляторов ″А″ и ″Б″, управление вентилем аварийного слива, управления главной паровой задвижкой (ГПЗ), управление вентилем ″продувка пароперегревателя″, управления быстрозапорным мазутным клапаном, управления задвижками мазутных горелок, открытия импульсных предохранительных клапанов.

Изменение расхода мазута, воздуха, дымовых газов, питательной воды, конденсата на впрыскивающие пароохладители осуществляются регулирующими органами, имитирующими мазутный регулирующий клапан, регулирующие органы вентиляторов ″А″ и ″Б″, регулирующие органы дымососов ″А″ и ″Б″, вентиль на линии впрыска конденсата, питательный клапан, приборы имитирующие силу тока электродвигателей дымососов и вентиляторов.

На пульте управления электрической модели котла установлены сигнальные лампы, указывающие на положение трубопроводной арматуры и машин: ″открыто″ или ″включено″ - красная лампа, ″закрыто″ или ″отключено″ - зеленая лампа.

На пульте преподавателя установлены тумблеры, позволяющие имитировать аварийные ситуации работы котла:

1. Пуск- останов одного из питательных насосов (″ПЭН″).

2. Имитация загорания отложений конвективной шахты (″загорание″).

3. Имитация разрыва мазутопровода или срыва мазутных насосов (″мазут″).

На пульте преподавателя имеется потенциометр, позволяющий имитировать изменение нагрузки котла (″нагрузка″).

Посредством указанных тумблеров и регуляторов на электрической модели парового котла можно имитировать взаимодействие и изменение следующих параметров:

1. Давления мазута за регулирующим мазутным клапаном в зависимости от степени открытия регулирующего клапана, от числа включенных форсунок.

2. Расхода мазута в зависимости от степени открытия регулирующего клапана и от числа включенных мазутных форсунок.

3. Расхода питательной воды, поступающей в котел в зависимости от степени открытия регулирующего клапана и от числа работающих питательных насосов.

4. Давления воды перед регулирующим клапаном в зависимости от степени открытия регулирующего клапана и от числа работающих питательных насосов.

5. Разрежения вверху топочной камеры в зависимости от степени открытия регулирующих органов вентиляторов и дымососов и от числа включенных вентиляторов и дымососов.

6. Уровня воды в барабане в зависимости от мгновенных значений расхода воды и пара.

7. Давления перегретого пара перед главной паровой задвижкой в зависимости от количества сжигаемого мазута, расхода воздуха и количества отбираемого пара (″нагрузки″).

8.) Выработки пара котлоагрегатом в зависимости от количества сжигаемого мазута и расхода воздуха.

Схема размещения приборов и ключей управления на модели теплового щита управления энергетическим котлом представлена на Рис.1.

Условные обозначения к рис.1.

1.- давление мазута, кгс/см$^2$; 2.- давление воды, кгс/см$^2$; 3.- разряжение в топке, мм.вод.ст.; 4.- давление пара, кгс/см$^2$; 5.- температура пара, $^o$C; 6.- избыточный кислород, %$O_2$; 7.- расход мазута, т/ч; 8.- расход воды, т/ч; 9.- уровень в барабане, мм.вод.ст.; 10.- расход пара, т/ч; 11.- расход воздуха, м$^3$/ч; 12.- температура уходящих газов, $^o$C; 13.- дутьевой вентилятор (ДВ) - А; 14.- ДВ - Б; 15.- дымосос (Д) - А; 16.- Д - Б; 17, 18, 19, 20, 21, 22.- соответственно горелки 1, 2, 3, 4, 5, 6; 23.- аварийный сброс; 24.- продувка пароперегревателя; 25.- мазут к котлу; 26.- регулятор мазута; 27.- регулятор газа; 28.- аварийный останов; 29.- сеть; 30.- резервный регулятор; 31.- регулятор питания; 32.- регулятор температуры пара впрыском конденсата; 33.- резервный регулятор; 34.- главная паровая задвижка; 35.- резерв; 36.- указатель открытия направляющего аппарата ДВ-А;

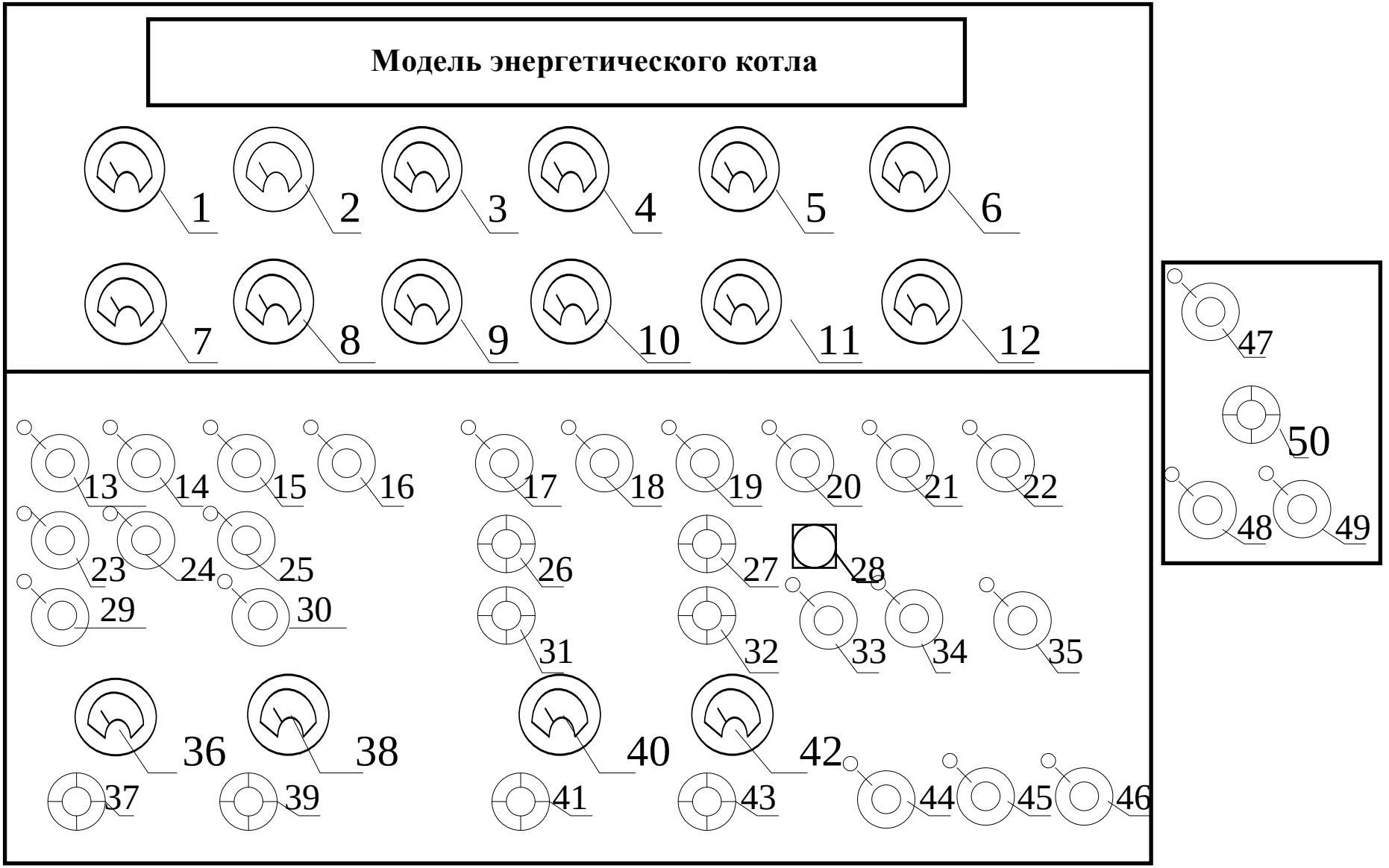

Модель энергетического котла
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

Рис.1

37.- регулятор воздуха ДВ-А; 38.- указатель открытия направляющего аппарата ДВ-Б; 39.- регулятор воздуха ДВ-Б; 40.- указатель открытия направляющего аппарата Д-А; 41.- регулятор разряжения Д-А ; 42.- указатель открытия направляющего аппарата Д-Б; 43.- регулятор разряжения Д-Б; 44.- пожаротушение ; 45.- импульсный предохранительный клапан (ИПК); 46.- резерв; 47.- питательный электронасос (ПН); 48.- ″мазут″; 49.- ″загорание″ (в конвективной шахте); 50.- ″нагрузка″ (регулятор нагрузки котлоагрегата).

## 4 Описание замеров и измерительных приборов парового котла

Во время испытания котлоагрегата следует произвести следующие основные группы измерений:

1.) паропроизводительности и параметров пара и питательной воды;

2.) качества и количества сжигаемого топлива;

3.) состава и температуры продуктов сгорания за котлом.

Замеры, необходимые при балансовых испытаниях котла, указаны на принципиальной схеме замеров и расстановки измерительных приборов (рис.2). Обозначения измеряемых величин, принятые в схеме, соответствуют обозначениям, приведенным в таблице 2 .

Расход пара определяется по показаниям эксплуатационных приборов на тепловом щите, а также может быть определен по количеству питательной воды, поступающей в котел, за вычетом расхода котловой воды на непрерывную продувку. В этом случае дренажные трубопроводы должны быть плотно закрыты.

Давление пара в барабане, перегретого пара, а также питательной воды и топлива определяется по показаниям манометра, установленного на щите обслуживания парового котла.

Температура уходящих газов и питательной воды определяется самопишущем потенциометром.

Анализ дымовых газов за котлоагрегатом производится с помощью $2^x$ переносных химических газоанализаторов. Они необходимы для ведения топочного режима и определения к.п.д. методом обратного баланса.

Для определения к.п.д. нетто котлоагрегата необходимо знать расходы электроэнергии и тепла на собственные нужды.

Расход электроэнергии на собственные нужды находится по потребляемой мощности вспомогательного оборудования котлоагрегата дымососов, дутьевых вентиляторов, вентиляторов рециркуляции дымовых газов.

Расход тепловой энергии на собственные нужды подсчитывается по количеству и параметрам продувочной воды, или насыщенного пара, отбираемого из барабана.

Влажность и температура воздуха в месте его забора определяется по показаниям ″″сухого″ и ″влажного″″ термометров /психрометра/ и показаниям барометра.

Во время испытаний нагрузка котлоагрегата и все параметры поддерживаются постоянными.

Таблица 1

# Опыт№

Фамилия наблюдателя_____

Работа _____

## Журнал наблюдений №_____

от_____2001г.

| №№ пунктов | | | | | | | | | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| №№ приборов | | | | | | | | | |
| Объект наблюдения | | | | | | | | | |
| Обозначение | | | | | | | | | |
| Время | | Единица измерения | | | | | | | |
| час. | мин. | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Записи показаний всех основных приборов котлоагрегата и отбора пробы газа производятся через каждые 10 мин. и заносятся в специальные журналы наблюдений по прилагаемой форме /табл. 1/. Средние за период испытания величины заносятся в табл. 2.

Таблица 2.

Средние за период испытания величины.

| №/пп | Названия замеряемых величин | Обозначение | Размерность | Величина |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Температура перегретого пара | $t_{пе}$ | $^oC$ | |
| 2. | Давление перегретого пара | $P_{пе}$ | МПа | |
| 3. | Паропроизводительность | $D_{пе}$ | кг/с | |
| 4. | Температура топлива | $t_{тл}$ | $^oC$ | |
| 5. | Давление топлива | $P_{тл}$ | МПа | |
| 6. | Расход топлива | B | кг/с | |
| 7. | Температура питательной воды | $t_{пв}$ | $^oC$ | |
| 8. | Давление питательной воды | $P_{пв}$ | МПа | |
| 9. | Расход питательной воды | $D_{пв}$ | кг/с | |
| 10. | Температура уходящих газов | $Э_{ух}$ | $^oC$ | |
| 11. | Температура подогрева воздуха в калорифере | $t_k$ | $^oC$ | |
| 12. | Температура холодного воздуха | $t_o$ | $^oC$ | |
| 13. | Данные анализа уходящих газов или показания кислородомера | $CO_2$<br>$O_2$ | %<br>% | |
| 14. | Расход пара на собственные нужды с параметрами | $D_{сн}$<br>$P_{сн}$<br>$t_{сн}$ | кг/с<br>Мпа<br>$^oC$ | |
| 15. | Напряжение на электродвигателях<br>а) дымососов и вентиляторов<br>б) вентиляторов рециркуляции дымовых газов | <br><br>$V_д, V_в$<br>$V_{врдг}$ | <br><br>В<br>В | |
| 16. | Амперная загрузка электродвигателей:<br>а) дымососов, вентиляторов;<br>б) вентилятор рециркуляции дымовых газов | <br><br>$A_д$, $A_в$<br><br>$A_{врдг}$ | <br><br>А<br><br>А | |

## 5 Описание замеров и измерительных приборов водогрейного котла.

### 5.1 Описание водогрейного котла.

Балансовые испытания водогрейного котла производятся в котельной СГТУ на горизонтальном жароводотрубном водогрейном котле типа КВ-ГМ-1. Он предназначен для получения горячей воды, используемой в системе отопления и горячего водоснабжения технического университета. Котел снабжен одной горелкой типа ГГВ-МГП для сжигания природного газа. Для подачи воз-

духа в горелку на ней закреплен дутьевой вентилятор с электродвигателем мощностью 1,5 МВт.

Номинальная теплопроизводительность котла $Q_в$= 1 МВт (0,86 Гкал/ч) при температуре прямой сетевой воды $t_в^{пр}$ = 115 °С, обратной $t_в^{обр}$ = 50 °С и расходе воды $D_в$ = 12,4 т/ч. Общая поверхность котла - 31 м$^2$, объем воды - 2,64 м$^3$. Котел снабжен чугунным оребренным экономайзером типа ВТИ. Экономайзер может быть отключен как по воде с помощью запорных вентилей, показанных на рис. 3, так и по газовой стороне, при помощи специального шибера. Соответственно испытания котла могут проводиться как с включенным, так и с отключенным экономайзером.

Котел состоит из горизонтального цилиндрического корпуса диаметром 1400 мм, внутри которого размещена жаровая труба и водотрубный пучок. Водотрубный пучок находится во втором газоходе, отделенным от жаровой трубы листом из нержавеющей стали $\delta$ = 5 мм, и состоит из труб диаметром 51х2,5 мм. Корпус и жаровая труба с фронта котла соединены фланцем, на котором закреплена стальная плита с горелкой. Снизу корпус жаровой трубы и водотрубного пучка опирается на скользящую опору, компенсирующую температурные удлинения и позволяющие извлекать корпус жаровой трубы из котла во время ремонта. Дымовые газы выходят с фронта котла и при помощи кирпичного газохода разворачиваются в экономайзер, который размещен сбоку от котла. Далее дымовые газы проходят под котлом и поступают в подземный боров, откуда удаляются за счет самотяги дымовой трубы. За счет вентилятора котел работает под наддувом, в экономайзере и далее по газоходу при помощи дымовой трубы поддерживается разряжение.

Котел снабжен двумя пружинными предохранительными клапанами (ПК) по водяной стороне и тремя взрывными клапанами по газовой стороне: над поворотном газоходе, над экономайзером, и на выходе из котла перед основным шибером с задней части котла. Взрывные клапана сделаны из асбестокартона толщиной 3мм .

## 5.2 Описание замеров и приборов водогрейного котла

Во время испытаний водогрейного котла производятся следующие группы измерений:

1. Производительность и параметры прямой и обратной сетевой воды.
2. Качество и количество сжигаемого топлива.
3. Состав и температура газов перед экономайзером и за ним.

Замеры, необходимые при балансовых испытаниях водогрейного котла, указаны на принципиальной схеме замеров и расстановки измерительных приборов (рис. 3).

Расход воды определяется с помощью крыльчатого водомера, установленного на линии обратной сетевой воды.

Давление и температура прямой сетевой воды замеряется по приборам, установленным на верхней части корпуса котла.

Отбор газов на анализ осуществляется с помощью газоотборных трубок, устанавливаемых в специальных отверстиях в газоходах котла. Здесь же замеряется температура уходящих газов ( $\vartheta_{ух}$, °С) и температура газов перед экономайзером ( $\vartheta_{эк}$, °С). В топке котла избыточное давление при номинальной тепловой мощности котла за счет вентилятора составляет не более 900 Па, общее аэродинамическое сопротивление котла без экономайзера составляет 350 Па. Поэтому газоходы котла перед экономайзером и сразу за ним находятся под небольшим избыточным давлением, и для отбора проб газа не требуется использования эжекторов для создания разряжения перед газоанализатором.

Котел снабжен двухпозиционной автоматикой, позволяющей работать на двух режимах - номинальном и 40% от номинального. Это позволяет проводить испытания также на двух режимах.

Записи показаний всех приборов котла и отбор пробы газов производится одновременно через каждые 10 минут, и заносятся в журнал наблюдений по прилагаемой форме (табл. 1).

В журнал наблюдений заносятся следующие параметры:

$P_{пр}$ - давление прямой сетевой воды, Мпа;

$t_{пр}$ - температура прямой сетевой воды, °С;

$P_{обр}$ - давление обратной сетевой воды, Мпа;

$t_{обр}$ - температура обратной сетевой воды, °С;

$D_в$ - расход сетевой воды (определяется за каждые 5 минут), $м^3$;

$\vartheta_{ух}$ - температура уходящих газов, °С;

$\vartheta''_{эк}$ - температура газов за котлом (перед экономайзером), °С;

$t_о$ - температура воздуха в котельной, °С;

$O_2$ - содержание кислорода в дымовых газах за котлом и за экономайзером, %;

$RO_2 = CO_2 + SO_2$ - сумма трехатомных газов в дымовых газах за котлом и за экономайзером, %;

$CO$, $H_2$, $CH_4$, $C_nH_m$ - продукты неполного сгорания топлива, %.

Для достоверности испытаний необходимо провести 5 - 7 замеров, затем определяются средние за период испытаний величины, по которым и рассчитывается $\eta_к^{бр}$ методом обратного баланса и расход топлива В .

## 6 Определение КПД брутто котлоагрегата методом прямого баланса.

Определение к.п.д. брутто по методу прямого баланса основано на измерениях количества подведённого и использованного тепла путём непосредственных замеров расхода топлива, пара и его параметров. КПД брутто по методу прямого баланса вычисляется по формуле:

$$\eta_к^{бр} = q_1 = \frac{Q_1}{Q_р^р} * 100 = \frac{D_{п\,е}(h_{п\,е} - h_{п\,в})}{B * Q_р^р} * 100 \text{ , \%} \qquad (1)$$

где $Q_1$ - полезно использованное тепло, кДж/кг; $Q_р^р$ - располагаемая теплота, поступающая в котлоагрегат на 1 кг или на 1 м$^3$ топлива, кДж/кг; $q_1$ - полезно использованное тепло, отнесенное к располагаемому теплу топлива и представляющее собой к.п.д. брутто, %; $D_{пе}$ - производительность котлоагрегата, кг/с; В - расход топлива в котле, кг/с (м$^3$/с); $h_{пе}$, $h_{пв}$ - соответственно энтальпии перегретого пара и питательной воды, кг/с.

Если при работе котлоагрегата на электростанции во время испытаний имеет место непрерывная продувка и отбор насыщенного пара из барабана котла на собственные нужды, то

$$\eta_к^{бр} = q_1 = \frac{D_{пе}(h_{пе} - h_{пв}) + D_{пр}(h' - h_{пв}) + D_{сн}(h'' - h_{пв})}{B * Q_р^р} * 100, \% \quad (2)$$

где $D_{пр}$- расход воды на непрерывную продувку, кг/с; $D_{сн}$- расход насыщенного пара на собственные нужды, кг/с; $h', h''$ - соответственно энтальпии кипящей воды и насыщенного пара при давлении в барабане котла, кДж/кг.

Для водогрейного котла к.п.д. определяется по формуле:

$$\eta_{бр}^{пр} = \frac{Q_1}{Q_р^р} * 100 = \frac{D_в\left(h_{пр} - h_{обр}\right)}{B * Q_р^р} * 100 \ , \ \% \quad (3)$$

где $D_в$ - расход сетевой воды через котел, кг/с; $h_{пр}$, $h_{обр}$ - соответственно энтальпии прямой и обратной сетевой воды, кДж/кг.

Располагаемое тепло топлива определяется по формуле :

$$Q_р^р = Q_н^р + Q_{в.вн} + Q_{тл} + Q_ф, \ \text{кДж/кг (кДж/м}^3) \quad (4)$$

где $Q_н^р$ - низшая удельная теплота сгорания рабочей массы твёрдого, жидкого или сухой массы газообразного топлива, кДж/кг или кДж/нм$^3$; $Q_{в.\ вн}$ - тепло, внесённое в котлоагрегат воздухом, при нагреве в калорифере, кДж/кг; $Q_{тл}$ - физическое тепло топлива, кДж/кг; $Q_ф$ - тепло, поступаемое в котлоагрегат с паровым дутьём (форсуночным паром).

Состав топлива и величина $Q_н^р$ должна определяться в химической лаборатории, а для известной марки топлива может быть принята по справочным данным.

Физическое тепло топлива может быть найдено по формуле:

$$Q_{тл} = c_{тл} t_{тл} \ , \quad (5)$$

где $t_{тл}$ - температура рабочего топлива, $^o$C; $C_{тл}$ - теплоёмкость топлива, кДж/(кг $^o$C).

Теплоёмкость жидкого топлива зависит от температуры и определяется для мазута по приближенной формуле:

$$C_{тл} = 4{,}187(0{,}415 + 0{,}0006\, t_{тл}) \ , \quad (6)$$

Физическое тепло топлива учитывается в тех случаях, когда оно предварительно нагрето посторонним источником тепла (паровой нагрев мазута и т.д.)

Тепло, затраченное на нагрев воздуха, поступающего в котлоагрегат, кДж/кг или кДж/нм$^3$.

$$Q_{в.вн} = \beta' \left[ \left(H_в^o\right)'' - \left(H_в^o\right)' \right], \quad (7)$$

где $\beta'$ - отношение количества воздуха на входе в воздухоподогреватель к теоретически необходимому расходу воздуха $\left(V_в^o\right)$; $\left(H_в^o\right)''$ и $\left(H_в^o\right)'$ - энтальпия теоретически необходимого количества воздуха на выходе из калорифера и на входе в него (холодного воздуха), кДж/кг или кДж/м$^3$.

Тепло, вносимое в котёл паровым дутьём, определяется по формуле:

$Q_ф = G_ф(h_ф - 2510)$,

где $G_ф$ - выход пара, идущего на дутьё или распыливание топлива, кг/кг; $h_ф$ - энтальпия этого пара кДж/кг.

КПД брутто $\eta_{бр}^{пр}$ котла по методу прямого баланса рассчитывается по формуле (I) или (2).

Для определения энтальпии пара и питательной воды по таблицам перегретого пара и воды необходимо знать их давление и температуру.

Давление пара и питательной воды, замеряется по приборам на щите управления котла. Температура перегретого пара и питательной воды замеряется термопарами, установленными на паропроводе и входном коллекторе водяного экономайзера. Вторичные показывающие или самопишущие приборы расположены на тепловом щите.

## 7 Определение к.п.д. нетто котлоагрегата.

Для определения к.п.д. нетто котлоагрегата необходимо подсчитать расход электроэнергии (привод дымосов, дутьевых и мельничных вентиляторов, мельниц, вентиляторов рециркуляции дымовых газов, питателей пыли и сырого угля) и тепла (на обдувку, распыливание мазута, с продувочной водой и на собственные нужды).

Мощность, потребляемая электродвигателем, подсчитывается по замерам силы тока и напряжения, с учётом косинуса $\varphi$

$$N_{сн}^{эл} = \sqrt{3} * I * V * \cos\varphi * 10^{-3}, кВт \quad (9)$$

где I - сила тока, а; V - напряжение, в; Cos $\varphi$ - принимают равным 0,85. Суммарная мощность $N_{сн}^{общ}$, расходуемая электродвигателями всех вспомогательных агрегатов на собственные нужды равна:

$$N_{сн}^{общ} = N_д + N_{дв} + N_{врдг}, кВт \quad (10)$$

где $N_д, N_{дв}, N_{врдг}$ - мощность, затрачиваемая на привод соответственно дымососов, дутьевых вентиляторов и вентиляторов рециркуляции дымовых газов.

Расход тепла на собственные нужды самого котла могут быть незначительными, тогда общий расход энергии на собственные нужды в % от располагаемого тепла топлива будет составлять:

$$\Delta\eta_{сн}=\frac{N_{сн}^{общ}}{B*Q_р^р}100\ ,\ \%\qquad(11)$$

Таким образом, КПД нетто котла равен:

$$\eta_{нетто}=\eta_{бр}-\Delta\eta_{сн}\ ,\ \%\qquad(12)$$

## 8 Определение КПД брутто котла методом обратного баланса.

Определение КПД брутто методом обратного баланса производится косвенным путем и основывается на измерении тепловых потерь парового или водогрейного котла. При этом составление теплового баланса котла заключается в установлении равенства между располагаемым теплом топлива $Q_р^р$ и полезно использованным теплом $Q_1$ плюс сумма тепловых потерь.

Уравнение теплового баланса, отнесенное к единице количества топлива, имеет вид:

$$Q_р^р=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5+Q_6\ ,\qquad(13)$$

если располагаемое тепло принято за 100%, то

$$q_1+q_2+q_3+q_4+q_5+q_6=100\%\ .\qquad(14)$$

Отсюда к.п.д. котла по методу обратного баланса находится как разность

$$q_1=\eta_{бр}^{обр}=100-q_2-q_3-q_4-q_5-q_6\ ,\ \%\qquad(15)$$

где $q_1$ – полезно использованное тепло, отнесенное к располагаемому теплу и представляющее собой к.п.д. брутто, %; $q_2$ – потери тепла с уходящими газами, %; $q_3$ – потери тепла с химической неполнотой сгорания топлива, %; $q_4$ – потери тепла с механическим недожогом, %; $q_5$ – потери тепла в окружающую среду с ограждающей поверхности котла, %; $q_6$ – потери тепла с физическим теплом шлаков, %.

При одинаковой точности замеров, метод обратного баланса обеспечит большую точность в определении к.п.д. по сравнению с методом прямого баланса. По этому метод обратного баланса используется как основной при балансовых испытаниях как паровых, так и водогрейных котлов.

При этом требуются следующие дополнительные измерения:

1) температуры уходящих газов ($\vartheta_{ух}$ , $^0$C);
2) газового анализа уходящих газов ($RO_2 = CO_2 + SO_2$; $O_2$ , %).

Так как эти величины были определены ранее и занесены в таблицу, то можно продолжать обработку результатов испытания для определения к.п.д. котла методом обратного баланса.

## 9 Определение коэффициента избытка воздуха по газовому анализу продуктов сгорания.

Коэффициент избытка воздуха $\alpha$ - есть отношение действительного количества воздуха $V_д$ поданного в топочную камеру котла к теоретически необходимому для горения $V^o$

$$\alpha = \frac{V_g}{V^o} \qquad (16)$$

Величина $\alpha$ зависит от состава и вида топлива, топочного режима, степени совершенства смешения топлива с воздухом и т.п. Если известен химический состав газов, получаемых при сгорании топлива, коэффициент избытка воздуха может быть определён по "азотной" формуле, которая для случая полного горения топлива записывается следующим образом:

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - 3{,}76O_2}. \qquad (17)$$

где $N_2$ – содержание азота в сухих продуктах горения, %.

При наличии химической неполноты горения формула приобретает следующий вид:

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - 3{,}76\left[O_2 - 0{,}5\left(CO + H_2\right) - 2CH_4 - 3C_nH_m\right]}. \qquad (18)$$

Если замерено содержание кислорода $O_2$ в дымовых газах по кислородомеру, то величина $\alpha$ может быть определена приближённо по "кислородной" формуле:

$$\alpha \approx \frac{21}{21 - O_2}. \qquad (19)$$

Количество азота в продуктах сгорания может быть подсчитано по формуле:

$$N_2 = 100 - \left(RO_2 + O_2 + CO + H_2 + CH_4 + 2C_nH_m\right), \% \qquad (20)$$

В таком виде "азотная" формула справедлива для топлив, в которых содержится азота меньше 3%.

## 10 Определение тепловых потерь котла.

1) Потери тепла с уходящими газами определяются разницей энтальпий газов на выходе из последней поверхности нагрева котла $\left(H_{ух}\right)$ и холодного воздуха, поступающего в котёл $\left(H^o_{хв}\right)$.

Величины энтальпий $H_{ух}$ и $H^o_{хв}$ могут быть определены в соответствии с рекомендациями нормативного расчета котельных агрегатов /1/.

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q^p_p}\left(100 - q_4\right) = \frac{H_{ух} - \alpha_{ух}H^o_{хв}}{Q^p_p}\left(100 - q_4\right), \% \qquad (21)$$

2) Потери тепла от химической неполноты сгорания определяются суммарной теплотой сгорания продуктов неполного горения, остающихся в уходящих газах.

При наличии в продуктах сгорания $H, CO, CH_4, C_nH_m$ потери тепла с химической неполнотой сгорания находят по формуле:

$$Q_3 = V_{сг}(108H_2 + 126CO + 358CH_4 + 590C_nH_m), \text{ кДж/кг} \quad (22)$$

где $V_{сг}$ - объем сухих газов, м$^3$/кг (м$^3$/м$^3$)

Эта потеря может быть выражена в % от располагаемого тепла

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_p^p} 100, \ \% \quad (23)$$

Величина $V_{сг}$ может быть рассчитана по формуле:

Для жидкого топлива:

$$V_{сг} = \frac{C^p + 0{,}375S^p_{op+к}}{0{,}54(CO_2 + CO + SO_2)}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (24)$$

Для газового топлива:

$$V_{сг} = \frac{CO_2^т + CO^т + H_2S^т + \Sigma C_nH_m^т}{CO_2 + SO_2 + CO}, \text{м}^3/\text{м}^3 \quad (25)$$

В формулах (24) и (25) $CO_2$, $SO_2$, CO – содержание в продуктах сгорания двуокиси углерода, сернистого газа и окиси углерода, %; $CO_2^т, CO^т, H_2S^т, C_nH_m^т$ - содержание в исходном топливе двуокиси углерода, окиси углерода, сероводорода и различных углеводородов, %.

Процентное содержание $H_2$, CO, $CH_4$ определяется на хроматографе.

3) Потери тепла в окружающую среду за счет естественной конвекции и излучения наружными поверхностями агрегата изменяются в зависимости от тепловой нагрузки котла.

Экспериментальное определение потерь тепла от наружного охлаждения представляет значительные трудности. Для стационарных котлов величина $q_5$ принимается по данным рис. 5 для парового котла и рис.4 для водогрейного котла.

При нагрузках, отличающихся от номинальной более чем на 25 %, величина $q_5$ уточняется по формуле:

$$q_5 = q_5^{ном} \frac{D_{ном}}{D}, \ \% \quad (26)$$

При испытании котлов на твердом топливе необходимо производить дополнительные замеры для определения потерь теплоты от механического недожога $q_4$ и физического тепла шлаков $q_6$.

Балансовые испытания на различных нагрузках проводятся после выхода котлоагрегата из ремонта для выявления оптимальных эксплуатационных характеристик. Кроме того, по данным таких испытаний можно судить о качестве ремонта. Результаты измерений этих испытаний заносятся в специальную режимную карту (табл.3).

Таблица 3

| РЕЖИМНАЯ КАРТА<br>Котлоагрегата типа___ при сжигании ст№ | "Утверждаю"<br>главный инженер" " |
|---|---|

| Наименование величин | | | | Разм. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Паропроизводительность | | | | т/ч | | | | | | |
| Перегретый пар | Давление | | | кг/см$^2$ | | | | | | |
| | Температура | | | $^o$C | | | | | | |
| Топливо | Расход | | | | | | | | | |
| | Давление | | | | | | | | | |
| | Температура | | | $^o$C | | | | | | |
| ВОЗДУХ | Сопротивление воздухоподогревателя | ЛЕВ. | | мм в.ст. | | | | | | |
| | | ПРАВ | | -"- | | | | | | |
| | Давление воздуха | | | -"- | | | | | | |
| | Давление воздуха на горелки | | | -"- | | | | | | |
| | Температура воздуха за калорифером | | | $^o$C | | | | | | |
| | Содержание $O_2$ за | | | % | | | | | | |
| | Коэффициент избытка воздуха за | | | - | | | | | | |
| Норма работающих горелок | | 1 ярус | | | | | | | | |
| | | 2 ярус | | | | | | | | |
| | | 3 ярус | | | | | | | | |
| Разряжение | В топке | | | мм в.ст. | | | | | | |
| | Перед дымососом | ЛЕВ. | | -"- | | | | | | |
| | | ПРАВ | | -"- | | | | | | |
| Температура дымовых газов | | | | $^o$C | | | | | | |
| | Уходящих | ЛЕВ. | | $^o$C | | | | | | |
| | | ПРАВ | | $^o$C | | | | | | |
| Температура питательной воды | | | | $^o$C | | | | | | |
| Амперная загрузка и скорость вращения электродвигателей | | ДС | А | а | | | | | | |
| | | | Б | а | | | | | | |
| | | ДВ | А | а | | | | | | |
| | | | Б | а | | | | | | |
| УП Регулирующих клапанов | | ДС | А | % | | | | | | |
| | | | Б | % | | | | | | |
| | | ДВ | А | % | | | | | | |
| | | | Б | % | | | | | | |

Примечания:

Начальник ПТО

Начальник котельного цеха

Инженер группы режимов

Начальник службы наладки

Руководитель котельной группы

Руководитель испытаний

## 11 Составление отчета по лабораторной работе.

В отчете должно быть отражено:

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема размещения точек измерений.
3. Протокол записей наблюдений (измерений).
4. Обработка опытных данных и таблица результатов расчетов.
5. Выводы по работе или сравнение результатов с литературными данными.

По правильному оформленному отчету студенту предлагается 2-3 вопроса по выполнению работы. При положительных ответах на эти вопросы отчет считается защищенным, а лабораторная работа - зачтённой.

## 12 Указания по технике безопасности.

При выполнении лабораторной работы в лабораториях института должны соблюдаться общие правила противопожарной безопасности. В случае возникновения пожара студент должен действовать по указаниям руководителя работы.

При проведении балансовых испытании в котельном цехе ТЭЦ или отдельно стоящей котельной должны приниматься особые меры по соблюдению правил техники безопасности. Поэтому прежде чем приступить к испытаниям студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности, который проводит лицо, назначенное администрацией котельного цеха или котельной.

При неисправности, либо аварийном состоянии котельной установки необходимо быстро покинуть помещение котельной, чтобы не создавать помех обслуживающему персоналу.

Студенты, нарушившие правила безопасности, которые не привели к несчастным случаям и к материальному ущербу, отстраняются от выполнения лабораторной работы.

Если нарушение ПТБ и безответственное отношение студентов к работе привело к материальному ущербу и к тяжелым несчастным случаям, они привлекаются к уголовной ответственности в соответствии с законодательством.

## Литература

1. Тепловой расчет котельных агрегатов. (Нормативный метод). Под ред. Н.В. Кузнецова и др. М.: Энергия, 2000.- 380 с.
2. Андреев А.А., Трембовля В.И., Фингер Е.Л. Теплотехнические испытания котельных установок. М.: Энергия, 1976.- 218 с.

# КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

# БАЛАНСОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПАРОВЫХ И ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ.

Методические указания к лабораторным работам
по разделу "Методика испытаний котлов"
для студентов специальностей 1005, 1008

Составили: ВАСИЛЬЕВ Алексей Викторович
АНТРОПОВ Георгий Васильевич
МУСАТОВ Юрий Викторович

Рецензент:
Корректор:

Подписано в печать Формат 60 × 84 1/16
Бум. оберт. Усл. - печ. Л. Уч. - изд. В 1,1
Тираж экз. Заказ
Саратовский государственный технический университет
410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77
Ротапринт СГТУ. 410054. Г. Саратов, ул. Политехническая, 77

# МОТИВИРОВАННОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На методическое указание для студентов специальностей 1005, 1007 "Балансовые испытания паровых и водогрейных котлов", подготовленное доцентами каф. ТЭ и ПТ Васильевым А.В., Антроповым Г.В. и Мусатовым Ю.В.

Методическое указание содержит рекомендации по проведению балансовых испытаний как паровых, так и водогрейных котлов энергетического и промышленного типов. Изложена организация теплотехнических испытаний, установка приборов и необходимая документация для балансовых испытаний на макете энергетического котла и его щите управления. Указаны необходимые точки замеров, как на паровом, так и на водогрейном котлах, а также основные и вспомогательные приборы, расположенные на щитах управления котлами.

Данный подход позволяет студентам в начале освоить методику испытаний на макете парового котла и его модели щита управления, а затем провести реальные балансовые испытания на действующих водогрейных или паровых котлах. Испытания могут проводиться либо на промышленно-отопительной котельной, либо на энергетическом котлоагрегате ТЭС.

Основная часть методического указания по балансовым испытаниям паровых котлов была апробирована студентами в котельной СГТУ, котельной клингородка и на Саратовской ТЭЦ-2.

Подготовленная рукопись соответствует требованиям к методическим указаниям и может быть рекомендована к изданию через РИО СГТУ.

Рецензент
Доц. Каф. , к.т.н.

Утверждено на заседании
Кафедры ТЭ (прот. № )
От "___" _____2005г. В.А. Медведев