



Министерство образования  
Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

---

**Кафедра «Тепловые электрические станции»**

**Б.М. Руденков  
Е.Н. Васильченкова**

**РЕЖИМНО-НАЛАДОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ  
И РАЗРАБОТКА РЕЖИМНОЙ КАРТЫ  
ПРОМЫШЛЕННОГО КОТЕЛЬНОГО  
АГРЕГАТА**

*Методическое пособие по составлению отчета  
о лабораторной работе*

**М и н с к 2010**

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

---

Кафедра «Тепловые электрические станции»

Б.М. Руденков  
Е.Н. Васильченкова

РЕЖИМНО-НАЛАДОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ  
И РАЗРАБОТКА РЕЖИМНОЙ КАРТЫ  
ПРОМЫШЛЕННОГО КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Методическое пособие по составлению отчета  
о лабораторной работе

М и н с к 2 0 1 0

УДК 621.181-77(076.5) (075.8)

ББК 31.361я7

Р 83

**Р е ц е н з е н т**

*Е.Г. Мигуцкий*

**Руденков, Б.М.**

Р 83 Режимно-наладочные испытания и разработка режимной карты промышленного котельного агрегата: методическое пособие по составлению отчета о лабораторной работе / Б.М. Руденков, Е.Н. Васильченкова. – Минск: БНТУ, 2010. – 45 с.

ISBN 978-985-525-138-6.

Приведены рекомендации по проведению лабораторной работы по режимно-наладочным испытаниям промышленного газомазутного котельного агрегата. Рекомендована форма составления отчета по испытаниям и форма режимной карты.

Издание предназначено для студентов специальностей «Тепловые электрические станции», «Промышленная теплоэнергетика», «Газоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна». Может быть использовано работниками наладочных организаций и эксплуатационным персоналом котельных.

УДК 621.181-77(076.5) (075.8)

ББК 31.361я7

ISBN 978-985-525-138-6

© Руденков Б.М.,  
Васильченкова Е.Н., 2010  
© БНТУ, 2010

## Содержание

В в е д е н и е. . . . .	4
<b>СОСТАВ ОТЧЕТА ПО РЕЖИМНО-НАЛАДОЧНЫМ ИСПЫТАНИЯМ. . . . .</b>	<b>6</b>
1. Аннотация. . . . .	6
2. Краткая техническая характеристика основного и вспомогательного оборудования. . . . .	6
3. Методика измерения основных величин и обработки экспериментальных данных. . . . .	13
4. Техническая программа проведения РНИ. . . . .	23
5. Состояние котлоагрегата и условия его эксплуатации. . . . .	26
6. Условия проведения режимно-наладочных испытаний котла. . . . .	26
7. Материалы обработки результатов режимно-наладочных испытаний котла. . . . .	27
8. Анализ проведенных режимно-наладочных испытаний. . . . .	38
9. Выводы и предложения. . . . .	43
Список использованных источников. . . . .	44

## ВВЕДЕНИЕ

Данное методическое пособие предназначено для студентов, прослушавших или слушающих курс «Испытания и наладка тепломеханического оборудования». К этому времени студенты изучили курсы «Парогенераторы», «Теплогенерирующие установки», «Теплотехнические измерения», «Водно-химические режимы» и др. поэтому вопросы измерений и применения приборов здесь не рассматриваются.

В зависимости от целей испытания проводятся по трем категориям сложности. Режимно-наладочные испытания относятся к третьей категории. Они проводятся упрощенными методами, дают возможность получить представление об отдельных изменениях измеряемых параметров, необходимых для нахождения и поддержания оптимальных режимов.

Основными этапами любых видов испытаний являются:

- ознакомление с технической документацией котла (проектной, заводской, ремонтной, отчетной);
- осмотр котла и его вспомогательного оборудования для оценки состояния оснащенности средствами измерения, регулирования и автоматики;
- разработка программы-методики испытаний с указанием объема и методов измерений и вида отчетности по результатам испытаний, согласование программы с руководством предприятия и с заинтересованными предприятиями;
- комплектование экспериментальной бригады из числа специалистов и наблюдателей, инструктаж членов бригады;<sup>1</sup>
- составление и передача задания на изготовление и монтаж приспособлений, устройств и аппаратуры, курирование изготовления и монтажа, тарирование средств измерения;
- проведение прикидочных учебно-тренировочных опытов, их обработка, анализ полученных результатов;

---

<sup>1</sup> Пункты, обозначенные <sup>1</sup>, к студенческой лабораторной работе не относятся.

- проведение основной серии опытов по программе;
- предварительная обработка основной серии опытов, анализ опытных данных;
- окончательная обработка опытных данных и составление технического отчета с выдачей рекомендаций;
- демонтаж схемы измерений и приспособлений.

Для рационального и экономичного использования имеющихся средств измерений проведению испытаний должно предшествовать составление рабочей программы. Эта программа составляется на один или группу опытов, и в ней содержатся следующие основные данные:

- название объекта испытаний;
- цели и задачи испытаний;
- перечень режимов;
- длительность и время проведения испытаний;
- особые условия;
- перечень лиц, ответственных за проведение испытаний и за технику безопасности.

Рабочая программа составляется и подписывается руководителем испытаний и утверждается ответственными представителями предприятия<sup>1</sup>. Для проведения испытаний должна быть оформлена заявка на получение предусмотренных рабочей программой режимов.

# **СОСТАВ ОТЧЕТА ПО РЕЖИМНО-НАЛАДОЧНЫМ ИСПЫТАНИЯМ**

## **1. Аннотация**

В аннотации сообщается, какие котельные агрегаты подвергались испытаниям (тип котлов, их инвентарные номера, используемое топливо, место установки, наименование владельца котла). Здесь же указывается номер договора<sup>1</sup>, в соответствии с которым проводились режимно-наладочные испытания, наименование заказчика и исполнителя, цель и сроки проведения испытаний.

## **2. Краткая техническая характеристика основного и вспомогательного оборудования**

В этом разделе указываются потребители тепла и пара, вырабатываемого котельной, количество и тип котлов котельной, схема топливоснабжения, схемы воздушного и газового трактов, схема подготовки добавочной воды и т.д. Сюда же включаются результаты обследования котельной на предмет соответствия оборудования тепловым нагрузкам.

До начала обследования котельной необходимо получить в отделе главного энергетика предприятия данные о тепловых нагрузках котельной (табл. 2.1) и об отпуске тепловой энергии (табл. 2.2)<sup>1</sup>.

Справка с таблицами типа 2.1, 2.2 должна быть подписана ответственным представителем предприятия, например, главным энергетиком или его заместителем.

Таблица 2.1

## Тепловые нагрузки котельной, МВт

Наименование нагрузок	Расчетная температура наружного воздуха, °С	20...г.	20...г.	20...г.
Максимальная зимняя, всего В том числе: на отопление на вентиляцию на горячее водоснабжение на технологические нужды Средняя за отопительный сезон Летняя				

Таблица 2.2

## Отчетные показатели котельной

Наименование	Всего за 20...г.	Квартал			
		1	2	3	4
Отпуск тепловой энергии, МВт, (ГДж), (Гкал)					
Расход условного топлива, т					
Удельный расход условного топлива кг/МВт, (кг/ГДж), (кг/Гкал)					
Расход натурального топлива: газа, тыс. м <sup>3</sup> мазута, т					
твердого топлива, т					

Далее составляется таблица, определяющая соответствие котельной тепловым нагрузкам предприятия (табл. 2.3). Тепловая мощность котельной устанавливается по расчетной тепловой



мощности котлов для существующих и перспективных условий. Резерв и дефицит тепловой мощности определяются как разность между максимальной зимней нагрузкой и тепловой мощностью котельной. Расчетная загрузка котла (котлов) в летнее время указывается для котлов, действительно работающих летом.

Таблица 2.3

Соответствие котельной тепловым нагрузкам

Показатель	20...г.	20...г.	20...г.
Расчетная тепловая мощность, МВт			
Резерв тепловой мощности, МВт: для максимальной нагрузки для средней отопительной нагрузки			
Дефицит тепловой мощности, МВт: для максимальной нагрузки для средней отопительной нагрузки			
Расчетная загрузка котла летом, %			

Далее приводятся сведения о технических характеристиках основного и вспомогательного оборудования (табл. 2.4–2.12).

Таблица 2.4

Таблица технических характеристик основного и вспомогательного оборудования котельной

*А. Техническая характеристика котлоагрегатов*

№ п/п	Наименование	Размерность	Величина	
			Инв. №	Инв. №
1	2	3	4	5
1	Тип котла			
2	Завод-изготовитель			
3	Год выпуска			
4	а) регистрационный номер б) заводской номер			

Окончание табл. 2.4

1	2	3	4	5
5	Паровой котел			
	а) давление пара в барабане расчетное (разрешенное)	МПа		
	б) температура перегретого пара	°С		
6	Водогрейный котел			
	а) температура воды на входе	°С		
	б) температура воды на выходе			
	в) давление воды на входе	МПа		
	г) гидравлическое сопротивление (расчет)	МПа		
д) расход воды	т/ч			
7	Поверхность нагрева	м <sup>2</sup>		
	а) радиационная	м <sup>2</sup>		
	б) конвективная	м <sup>2</sup>		
	в) водяного экономайзера	м <sup>2</sup>		
8	Объем топочной камеры	м <sup>3</sup>		
9	Горелка (форсунка)			
	а) тип			
	б) количество	шт.		
	в) диаметр отверстий (сопла)	мм		
г) количество отверстий	шт.			
10	Водяной экономайзер			
	а) тип (система)			
б) поверхность нагрева	м <sup>2</sup>			
11	Диафрагма расходомерная			
	а) диаметр трубопровода	мм		
	б) диаметр отверстия	мм		
	в) коэффициент расхода			
	г) попр. коэффициент на расширение измеряемой среды			
	д) коэффициент теплового расширения диафрагмы			
е) коэффициент К				

Таблица 2.5

*Б. Техническая характеристика тягодутьевых машин котлоагрегата №*

Наименование	Размерность	Вентиляторы	Дымососы
1. Тип			
2. Производительность	м <sup>3</sup> /ч		
3. Напор	кПа		
4. Количество	шт.		
5. Тип электродвигателя			
6. Мощность электродвигателя	кВт		
7. Число оборотов электродвигателя	об./мин		

Таблица 2.6

*В. Техническая характеристика насосов*

Наименование	Размерность	Питательные		Сетевые	Подпиточные	Конденсатные	Сырой воды	Горячего водоснабжения
		Электрич.	Паровые					
1. Тип								
2. Производительность	м <sup>3</sup> /ч							
3. Напор	м вод. ст. МПа							
4. Количество	шт.							
5. Тип электродвигателя								
6. Мощность электродвигателя	кВт							
7. Число оборотов электродвигателя	об./мин							

*Г. Техническая характеристика  
прочего оборудования котельной*

Таблица 2.7

Деаэрационная установка

1. Тип			
2. Производительность	т/ч		
3. Емкость бака	м <sup>3</sup>		
4. Количество	шт.		

Таблица 2.8

Оборудование ГРП (ГРУ, ШРП)

1. Регулятор давления	тип		
2. Предохранительный клапан	тип		
3. Фильтр газовый	тип		
4. Сбросное предохранительное устройство	тип		
5. Давление газа до регулятора	МПа		
6. Давление газа после регулятора	кПа		

Таблица 2.9

Питательные баки

1. Емкость	м <sup>3</sup>		
2. Количество	шт.		

Таблица 2.10

## Конденсатные баки

1. Емкость	м <sup>3</sup>		
2. Количество	шт.		

Таблица 2.11

## Подогреватели

Сетевые		Горяч. водоснабжения	
1. Тип			
2. Поверхность	м <sup>2</sup>		
3. Количество	шт.		

Таблица 2.12

## Химводоподготовка

Наименование	Тип	Количество, шт.	Диаметр
1. Фильтры			
2. Солеобразователь			
3. Число ступеней умягчения			

Обследование состояния КИПиА котельной проводят по двум направлениям. С одной стороны, уточняется необходимость измерения, регистрации, автоматизации и защиты общекотельного оборудования, проверяются наличие и работа приборов на день обследования. Полученные данные заносятся в табл. 2.13.

С другой стороны, специалистам по КИПиА необходимо провести детальное обследование имеющегося оборудования,

проверить его комплектность и состояние, выявить возможность его включения и наладки.

Таблица 2.13

Контрольно-измерительные приборы и автоматика на 20...г.

Процесс	Наличие комплекта измерений	Тип прибора	Состояние: + работает – не работает	Дата последней проверки
Защита				
Сигнализация				
Автоматическое регулирование				
Контроль				

### **3. Методика измерения основных величин и обработки экспериментальных данных**

В данном разделе указывается методика измерения давления пара в барабане, давления воздуха, газа, мазута, температуры топлива, расхода топлива, расхода пара, разрежения и температуры по газовому тракту, температуры и расхода питательной воды. Также указывается методика и приборы для выполнения анализа продуктов сгорания. Приводится схема точек замеров на испытуемом котле.

При обработке экспериментальных данных режимно-наладочных испытаний газомазутных промышленных котлоагрегатов используется методика М.Б. Равича [1], с помощью которой все необходимые результаты могут быть получены без знания элементарного состава топлива. Данная методика может быть использована и для сжигания твердого топлива. Дополнительные сведения для этого можно взять из [2] либо из табл. 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

**Некоторые теплотехнические характеристики  
твердого топлива**

Топливо	$t_{\max}$ , °С	$P$ , кДж/м <sup>3</sup>	$RO_2^{\max}$ , %	$B$	$Q_{н.р}$ , МДж/кг
Донецкий АРШ	2180	3800	20	0,95	23,67
Донецкий Д	2080	3940	19	0,89	20,53
Донецкий Г	2100	3900	19	0,9	24,7
Торф (брикеты)	2000	3900	19,5	0,86	17,3
Торф кусковой	1660	3620	19,5	0,77	10,7
Торф фрезерный	1500	3480	19,5	0,72	8,5
Древесина	1640	3670	20,5	0,75	10,2

Таблица 3.2

**Поправочные коэффициенты для подсчета  $q_2$**

Температура уходящих газов, °С	А, КУ		Торф, дрова	
	С'	К	С'	К
100	0,82	0,78	0,83	0,79
200	0,83	0,78	0,84	0,79
300	0,84	0,79	0,86	0,80
400	0,86	0,80	0,87	0,81

Коэффициент избытка воздуха определяется по формуле

$$\alpha = \frac{O_2 + n \cdot RO_2}{n \cdot RO_2},$$

где  $n$  имеет следующие значения:

сернистый мазут – 1,4;

природный газ – 2,0.

Потери тепла с уходящими газами

$$q_2 = \frac{t_{yx} - t_{bx}}{t_{max}} [C' + (m-1)KB] \cdot 100 \%,$$

где  $t_{yx}$  – температура уходящих газов, °С;

$t_{bx}$  – температура дутьевого воздуха, °С;

$B, l$  – поправочные коэффициенты, имеющие следующие значения:

природный газ:  $t_{max} = 2010$  °С;  $B = 0,80$ ;  $l = 0,85$ ;

мазут сернистый:  $t_{max} = 2010$  °С;  $B = 0,87$ ;  $l = 0,90$ .

В диапазоне температур уходящих газов 100–200 °С коэффициенты  $C = 0,825$ ;  $K = 0,78$ .

Потери тепла от химической неполноты горения определяются в соответствии с методикой М.Б. Равича по формуле

$$q_3 = \frac{Q_{нп}}{P} \cdot m \cdot 100, \%$$

где  $Q_{нп} = 126,5 \text{ CO} + 108,1 \text{ H}_2 + 358,2 \text{ CH}_4$  представляет собой потенциальную теплоту сгорания продуктов неполного горения, кДж/м<sup>3</sup>;

$P$  – характеристика топлива, равная для природного газа и сернистого мазута соответственно 4200 и 4074 кДж/м<sup>3</sup>.

$$m = \frac{RO_2^{max}}{RO_2 + CO + CH_4}.$$

Потерю теплоты от механической неполноты сгорания при сжигании твердого топлива можно определить по формуле [3]

$$q_4 = a_{ун} \frac{\Gamma_{ун}}{100 - \Gamma_{ун}} 7,8A^{пр} \%,$$



где  $a_{\text{ун}}$  – доля золы топлива в уносе;

$\Gamma_{\text{ун}}$  – содержание горючих в уносе, %;

$A^{\text{пр}}$  – приведенная зольность топлива.

Ориентировочно можно принять следующие величины  $q_4$  для слоевых топок [4]:

– древесина – 0,5–1;

– торф кусковой – 2;

– бурые угли с умеренной зольностью ( $A^{\text{пр}} = 6,5$ ) – 5–7;

– каменные угли – 5–7;

– антрацит сортированный (АС и АМ) – 7;

– бурые угли высокозольные ( $A^{\text{пр}} = 10$ ) – 9–11;

– антрацит несортированный с содержанием мелочи от 0 до 6 мм не более 55 % – 14–19.

Потери тепла от наружного охлаждения при номинальной нагрузке котла определяются по графикам [5] (рис. 3.1, 3.2).

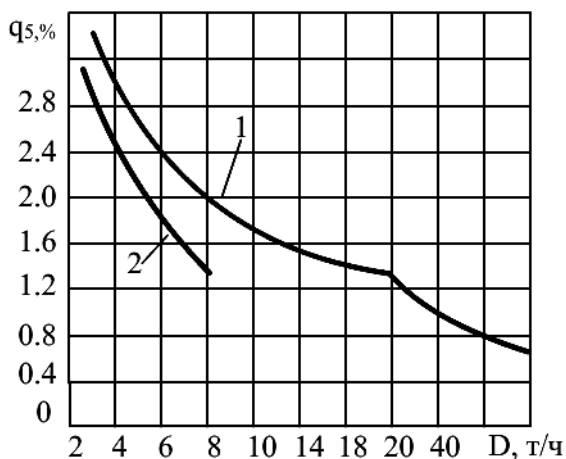


Рис. 3.1. Нормативные значения потери теплоты в окружающую среду:

1 – котел с хвостовыми поверхностями нагрева;

2 – собственно котел

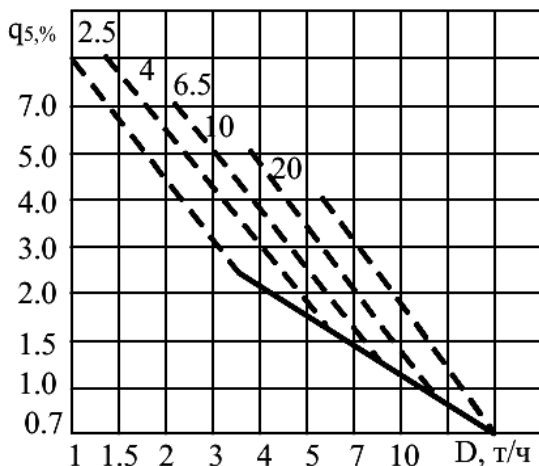


Рис. 3.2. Потери теплоты в окружающую среду для котлов ДКВр (цифрами на графике обозначены номинальные производительности)

При нагрузках, отличающихся от номинальной, величина  $q_5$  должна быть пересчитана по формуле

$$q_5 = q_5^{\text{НОМ}} \frac{D_{\text{НОМ}}}{D}, \%,$$

где  $q_5^{\text{НОМ}}$  – величина потери тепла от наружного охлаждения при номинальной нагрузке котла  $D_{\text{НОМ}}$ ;

$D$  – нагрузка котла в данном опыте.

Для паровых котлов производительностью менее 2,5 т/ч [6].

$$q_5 = \frac{Hq}{BQ_H^p} 100, \%,$$

где  $H$  – площадь поверхности ограждений котла,  $\text{м}^2$ ;  $q$  – усредненные потери теплоты с  $1 \text{ м}^2$  наружной поверхности котла, равны  $400 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$  ( $0,46 \text{ кВт/м}^2$ ).

Коэффициент полезного действия котла «брутто» определяется по обратному балансу:

$$\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} = 100 - q_2 - q_3 - q_5, \%$$

Часовой расход топлива определяется по формуле

$$B = \frac{D_{\text{нп}}(h_{\text{нп}} - h_{\text{пв}}) + D_{\text{пр}}(h_{\text{кв}} - h_{\text{пв}})}{Q_{\text{р}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}}, \text{ кг/ч(м}^3\text{/ч)},$$

где  $D_{\text{нп}}$ ,  $D_{\text{пр}}$  – расход насыщенного пара и продувочной воды, соответственно, кг/ч;

$h_{\text{нп}}$ ,  $h_{\text{кв}}$ ,  $h_{\text{пв}}$  – энтальпии, соответственно, насыщенного пара, котловой и питательной воды, кДж/кг;

$Q_{\text{р}}^{\text{р}}$  – располагаемое тепло топлива, кДж/кг (кДж/м<sup>3</sup>).

Для мазута

$$Q_{\text{р}}^{\text{р}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} + h_{\text{тл}} + Q_{\text{ф}}, \text{ кДж/кг},$$

где  $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$  – низшая теплота сгорания, кДж/кг;

$h_{\text{тл}}$  – физическое тепло топлива;

$h_{\text{тл}} = c_{\text{тл}} \cdot t_{\text{тл}}$ , кДж/кг;

$Q_{\text{ф}}$  – тепло, вносимое в котлоагрегат с распыливающим паром;

$Q_{\text{ф}} = G_{\text{ф}}(h_{\text{ф}} - 2514)$ , кДж/кг.

В этом выражении  $G_{\text{ф}}$  – расход пара, идущего на распыл, можно принять 0,2 кг/кг;  $h_{\text{ф}}$  – энтальпия распыливающего пара, кДж/кг.

Для газа

$$Q_{\text{р}}^{\text{р}} = Q_{\text{н}}^{\text{с}}, \text{ кДж/м}^3.$$

### Часовой расход условного топлива

$$B^{yt} = \frac{B \cdot Q_p^p}{29330}, \text{ кг у.т./ч.}$$

Удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал тепла

$$b^{yt} = \frac{142,86}{\eta_{ка}^{бр}} \cdot 100, \text{ кг у.т./Гкал.}$$

Формулы для расчета приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

#### Расчетные формулы

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Формула
1	2	3	4	5
1	Теплопроизводительность котла за вычетом продувки	$Q_k$	МВт	$[D_{ч}(h_{п} - h_{пв}) + D_{пр}(h_{кв} - h_{пв})] \cdot 10^{-6}$
2	Паропроизводительность котла за вычетом продувки	$D_{ч}$	кг/ч	$\frac{B_{ч} Q_{п}^p \eta^{бр}}{100 \cdot (h_{п} - h_{пв})}$
3	Потери тепла с продувкой в пересчете на пар	$D_{пр}$	кг/ч	$\frac{P_{пр} \cdot D_{ч} (h_{кв} - h_{пв})}{(h_{п} - h_{пв}) + 0,01(h_{кв} - h_{пв})}$
4	Паропроизводительность котла с учетом непрерывной продувки	$D'_{ч}$	кг/ч	$D_{ч} - D_{пр} = \frac{D_{ч}(h_{п} - h_{пв})}{(h_{п} - h_{пв}) + 0,01P_{пр}(h_{кв} - h_{пв})}$

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5
5	Теплопроизводительность котла с учетом непрерывной продувки	$Q_k$	МВт	$D_{\text{ч}}(\dot{h}_{\text{п}} - h_{\text{пв}}) \cdot 10^{-6}$
6	Потери тепла с уходящими газами	$q_2$	%	$\frac{t_{\text{yx}} - t_{\text{в}}}{t_{\text{max}}} \cdot [c' + (m-1) \cdot B \cdot \kappa] \cdot 100$
7	Потери тепла с химическим недожогом	$q_3$	%	$3,32 \cdot \text{CO} \cdot (\alpha - 0,05);$ $\frac{Q_{\text{нп}}}{P} \cdot m \cdot 100$
8	Потери тепла в окружающую среду	$q_5$	%	$q_5^{\text{н}} \frac{D_{\text{ч}}^{\text{ном}}}{D_{\text{ч}}}$
9	Отношение действительно-го и теоретического объемов сухих продуктов горения за агрегатом	$m$	—	$\frac{RO_2^{\text{max}}}{RO_2 + CO + CH_4}$
10	Коэффициент полезного действия «брутто»	$\eta^{\text{бр}}$	%	$100 - q_2 - q_3 - q_5$
11	КПД с учетом продувки	$\eta^{\text{бр}}$	%	$\eta^{\text{бр}} \cdot (1 - q_{\text{пр}}/100)$
12	Часовой расход условного топлива	$B_{\text{ч}}^{\text{ут}}$	$\frac{\text{кг у.т.}}{\text{ч}}$	$\frac{B_{\text{ч}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{29330}$
13	Удельный расход условного топлива на выработку 1 ГДж тепла	$b_{\text{выр}}^{\text{ут}}$	$\frac{\text{кг у.т.}}{\text{ГДж}}$	$\frac{34,1}{\eta^{\text{бр}}} 100$

Окончание табл. 3.3

1	2	3	4	5
14	Удельный расход условного топлива на 1 ГДж отпущенного тепла с учетом продувки	$b_{отп}^{ут}$	$\frac{\text{кг у.т.}}{\text{ГДж}}$	$\frac{34,1}{\eta_{бр}} 100$
15	Потери тепла с продувочной водой	$q_{пр}$	%	$\frac{P_{пр}(h_{кв} - h_{пв})}{(h_{п} - h_{пв}) + 0,01P_{пр}(h_{кв} - h_{пв})}$
16	Коэффициент избытка воздуха	$\alpha$		$\frac{1}{1 - 3,76O_2/N_2}; \frac{O_2 + n \cdot RO_2}{n \cdot RO_2}$

Перечень теплотехнических измерений приведен в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Перечень теплотехнических измерений,  
проводимых при режимно-наладочных испытаниях  
котлоагрегата

№ п/п	Измеряемая величина	Место установки	Число точек	Тип прибора	Пределы измерения приборов	Цена деления приборов
1	2	3	4	5	6	7
1	Кол-во вырабатываемого котлом пара					
2	Давление пара в барабане котла					
3	Давление газа в коллекторе					
4	Давление газа на горелках					

Окончание табл. 3.4

1	2	3	4	5	6	7
5	Давление воздуха за дутьевым вентилятором					
6	Давление воздуха на горелках					
7	Температура воздуха, поступающего на горение					
8	Разрежение в топке котла					
9	Разрежение за котлом					
10	Разрежение за экономайзером					
11	Температура уходящих газов за котлом					
12	Температура уходящих газов за экономайзером					
13	Температура питательной воды					
14	Анализ уходящих газов и температур за котлом и за экономайзером					
15	Расход газа на котельную					

## 4. Техническая программа проведения РНИ

«УТВЕРЖДАЮ»

\_\_\_\_\_  
(руководитель предприятия, организации)

\_\_\_\_\_ подпись

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20...г.

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА

Проведения режимно-наладочных испытаний на \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ топливе котла \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ инв. № \_\_\_\_\_, установленного в котельной

\_\_\_\_\_ наименование предприятия, организации

### ЦЕЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

Режимно-наладочные испытания проводятся с целью выведения показателей работы котла на наилучшие (оптимальные), с учетом местных условий, технико-экономической характеристики для достижения максимально возможного коэффициента полезного действия (КПД) котлоагрегата при рабочих нагрузках.

### ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ

Подготовительные работы:

- а) ознакомление с технической документацией и данными эксплуатации;
- б) проверка готовности агрегата к испытаниям;
- в) монтаж приборов для испытаний;



г) инструктаж наблюдателей;

д) испытание («фотография») работы котла в эксплуатационных условиях при среднегодовой нагрузке;

е) на основании проведенного обследования, т.е. осмотра котлоагрегата и вспомогательного оборудования, ознакомления с технической документацией и по результатам «фотографии» составление перечня мероприятий, выполнение которых необходимо для проведения режимно-наладочных испытаний.

#### Проведение наладочных работ:

а) опыты для определения и измерения присосов воздуха по котлоагрегату, давления воздуха, оптимальных избытков воздуха, температуры уходящих газов, разрежения в топке, газоходах, размеров факела, полноты горения, аэродинамического сопротивления котла и других характеристик котлоагрегата;

б) проведение основных опытов по определению потерь КПД котлоагрегата, удельного расхода топлива на ГДж (Гкал) выработанной теплоты на 4 нагрузках:

одной – номинальной (максимальной)

одной – минимально-устойчивой

двух – промежуточной

в) испытания проводятся при давлении пара в барабане котла          МПа

Обработка результатов испытаний с составлением технического отчета:

а) составление сводных таблиц результатов окончательной обработки опытов;

б) графическая обработка показателей работы котла;

в) составление режимной карты;

г) составление организационно-технических мероприятий, направленных на улучшение работы оборудования и повышение эффективности его работы.

Персонал котельной обеспечивает:

- а) безаварийную и безопасную работу котла и вспомогательного оборудования на период проведения режимно-наладочных испытаний;
- б) работу котла на указанных режимах:

допустимое отклонение от паропроизводительности (теплопроизводительности) \_\_\_\_\_

допустимое отклонение по давлению пара (воды) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

допустимое отклонение по температуре воды на входе в котел

СОГЛАСОВАНО:

Представитель заказчика

\_\_\_\_\_-\_\_\_\_\_  
должность, фамилия, и.о.

\_\_\_\_\_

подпись

СОСТАВИЛ:

Представитель исполнителя

\_\_\_\_\_-\_\_\_\_\_  
должность, фамилия, и.о.

\_\_\_\_\_

подпись

## **5. Состояние котла и условия его эксплуатации**

В данном разделе указываются результаты обследования котла и его вспомогательного оборудования. В частности, должны быть указаны:

- состояние горелок, диаметры и количество отверстий газораспределительных насадок и соответствие этих сведений паспортным данным;
- состояние и результаты тарировки мазутных форсунок;
- состояние внутренних и наружных поверхностей нагрева;
- состояние и надежность работы автоматики безопасности;
- герметичность газозапорной арматуры горелок;
- состояние автоматики процесса горения;
- наличие и эффективность работы оборудования ХВО и деаэрации;
- наличие резервного котла в зимний период;
- наличие приборов учета тепла и топлива;
- величина непрерывной продувки по данным наладки ВХР.

## **6. Условия проведения режимно-наладочных испытаний котла**

Должны быть указаны конкретные нагрузки котла, при которых проводились РНИ, нагрузка, при которой была снята «фотография» работы котла.

В частности, должно быть указано:

- длительность и соответствие нагрузки котла программе испытаний;
- как и чем измерялась паро(тепло)производительность котла;
- как осуществлялось питание котла;
- производилась или нет продувка котла;
- как регулировалась паропроизводительность котла;
- как регулировался расход воздуха;
- как регулировалось разрежение в котле;
- как и где определялся состав газов;
- как определялся расход топлива и т.д.

## 7. Материалы обработки результатов режимно-наладочных испытаний котла

### АКТ

«фотографии» работы котла в эксплуатационных условиях

Город \_\_\_\_\_ «\_\_» \_\_\_\_\_ 20... г.  
(населенный пункт)

Предприятие \_\_\_\_\_  
(наименование предприятия, организации)

Котел \_\_\_\_\_ инв. № \_\_\_\_\_ рег. № \_\_\_\_\_  
(тип котла)

Топливо \_\_\_\_\_  
(вид, марка топлива)

Эксплуатационные данные по котлу:

Среднегодовой коэффициент загрузки \_\_\_\_\_

Число часов работы котла в году \_\_\_\_\_

Ниже представлена таблица результатов испытания котла при работе до проведения наладочных испытаний (табл. 7.1).

Таблица 7.1

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Значение величины	Примечание
1	2	3	4	5	6
1	Паропроизводительность	$D_{\text{ч}}$	кг/ч		
2	Давление топлива на горелках	$P_{\text{г}}$	Па (кПа)		
3	Давление воздуха на горелках (положение воздушных заслонок)	$P_{\text{в}}$	Па		
4	Разрежение в топке котла	$\Delta S_{\text{т}}$	Па		

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
5	Температура питательной воды	$t_{пв}$	°С		
6	Температура сетевой воды перед котлом (обратной)	$t_{о св}$	°С		
7	Температура сетевой воды после котла (прямой)	$t_{п св}$	°С		
8	Расход воды через водогрейный котел	$G_{св}$	Т/ч		
9	Температура уходящих газов за котлоагрегатом	$t_{ух}$	°С		
10	Температура воздуха, поступающего в топку	$t_{в}$	°С		
11	Содержание $CO_2$ в уходящих газах за водяным экономайзером	$CO_2^{ЭК}$	%		
12	Содержание $CO$ в уходящих газах за водяным экономайзером	$CO^{ЭК}$	%		
13	Коэффициент избытка воздуха за водяным экономайзером	$\alpha_э$	—		
14	Потери тепла с уходящими газами	$q_2$	%		

Окончание табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
15	Потери тепла от химической неполноты горения	$q_3$	%		
16	Потери тепла в окружающую среду	$q_5$	%		
17	Коэффициент полезного действия котлоагрегата	$\eta_{ка}^{бр}$	%		
18	Часовой расход топлива (натурального)	$B_ч$	м <sup>3</sup> /ч (кг/ч)		
19	Часовой расход условного топлива	$B_ч^{ут}$	кг у.т./ч		
20	Теплота сгорания топлива низшая (средняя за 200 г.)	$Q_H^p$	МДж/м <sup>3</sup> (МДж/кг)		

Результаты режимно-наладочных испытаний и обработки экспериментальных данных приведены в табл. 7.2–7.4.

Сводная таблица  
 обработки результатов испытаний котлоагрегата \_\_\_\_\_ ст. № \_\_\_\_\_, рег № \_\_\_\_\_  
 на \_\_\_\_\_ топливе

Таблица 7.2

№ п/п	Наименование	Обозна- чение	Размер- ность	Значение величин				Примеча- ние	
				Опыт №					
				1	2	3	4		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Производительность котла: - тепловая - паровая	$Q_k$ $D_k$	МВт кг/ч						
2	Количество работающих горелок	$n$	шт.						
3	Жаропроизводительность топлива	$t_{max}$	°С						
4	Теплота сгорания топлива (низшая)	$Q_{н^p}$	кДж/м <sup>3</sup> (кДж/кг)						
5	Температура топлива	$t_T$	°С						
6	Давления топлива на горелках	$P_{гор}$	Па (кПа)						
7	Температура газов: - за котлом - за экономайзером	$t_{ка'}$ $t_{yx}$	°С °С						
8	Соотношение объемов влажных и сухих продуктов горения	$B$							
9	Отношение средней теплоемкости неразбав- ленных воздухом продуктов горения в тем- пературном интервале от 0 °С до $t_{yx,г}$ к их теплоемкости в интервале от 0 °С до $t_{max}$	$C$							

Продолжение табл. 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	Отношение средней теплоемкости 1 $\text{нм}^3$ воздуха в температурном интервале от 0 °С до $t_{\text{yx}}$ к теплоемкости 1 $\text{нм}^3$ неразбавленных $t_{\text{yx},\Gamma}$ воздухом продуктов горения в температурном интервале 0 °С до $t_{\text{max}}$	K						
11	Максимальное содержание 3-атомных газов в продуктах горения	$RO_2^{\text{max}}$	%					
12	Содержание продуктов горения за котлом: - кислород - окись углерода - углекислота	$O_2^k$ $CO^k$ $CO_2$	% % %					
13	Содержание продуктов горения за экономайзером: - кислород - окись углерода - углекислота	$O_2^k$ CO $CO_2$	% % %					
14	Отношение действительного и теоретического объемов сухих продуктов горения за агрегатом	$m$	-					
15	Коэффициент избытка воздуха за котлом	$\alpha_k''$	-					
16	Коэффициент избытка воздуха за экономайзером	$\alpha_3''$	-					
17	Разрежение:							
	- в топке	$S_T$	Па					
	- за котлом	$S_k''$	Па					
	- за экономайзером	$S_3''$	Па					



1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	Сопротивление: - котла - экономайзера	$\Delta h_k$ $\Delta h_3$	Па Па					
19	Давление вторичного воздуха на горелках	$P_{\text{возд}}$	Па					
20	Температура воздуха, поступающего на горение	$t_{\text{в}}$	°С					
21	Потери тепла с уходящими газами	$q_2$	%					
22	Потери тепла от химической неполноты горения	$q_3$	%					
23	Потери в окружающую среду	$q_5$	%					
24	Коэффициент полезного действия «брутто»	$\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}$	%					
25	Температура питательной воды до экономайзера	$t_{\text{пв}}'$	°С					
26	Температура питательной воды после экономайзера	$t_{\text{пв}}''$	°С					
27	Теплосодержание питательной воды	$h_{\text{пв}}$	кДж/кг					
28	Давление пара в барабане котла	$P_6$	МПа					
29	Теплосодержание воды в барабане котла	$h_{\text{кв}}$	кДж/кг					
30	Теплосодержание пара	$h_{\text{п}}$	кДж/кг					
31	Паропроизводительность котлоагрегата	$D_{\text{ка}}$	кг/ч					
32	Процент непрерывной продувки	$P_{\text{пр}}$	%					
33	Потери тепла с продувкой в пересчете на пар	$D_{\text{пр}}$	кг/ч					
34	Потери тепла с продувочной водой	$Q_{\text{пр}}$	%					

Окончание табл. 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	Часовой расход натурального топлива	$B_{\text{н}}$	$\text{м}^3/\text{ч}$ (кг/ч)					
36	Часовой расход условного топлива	$B_{\text{ут}}$	кг/ч					
37	Теплонапряжение поверхности нагрева котла ( $H = \text{м}^3$ )	$q_F$	кВт/м <sup>2</sup>					
38	Теплонапряжение топочного объема ( $V = \text{м}^3$ )	$q_V$	кВт/м <sup>3</sup>					
39	КПД с учетом продувки	$\eta_{\text{ка}}$	%					
40	Удельный расход условного топлива на 1 Гкал отпущенного тепла	$b_{\text{ут}}$	кг у.т./Гкал					
41	Удельный расход условного топлива на 1 ГДж отпущенного тепла (с учетом продувки)	$b_{\text{ут}}$	кг у.т./ГДж					

Технико-экономический расчет экономии топлива  
по результатам испытаний

Котла \_\_\_\_\_ Инв. № \_\_\_\_\_ Рег. № \_\_\_\_\_  
Топливо \_\_\_\_\_

Таблица 7.3

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Значение величины		Примечание
			при фото-граф.	после испытан.	
1	2	3	4	5	6
1. Паропроизводительность котла	$D_K$	кг/ч			
2. Давление топлива в горелке котла	$P_r$	кПа			
3. а) давление воздуха на горелке котла					
б) давление воздуха на горелке котла вторичного	$P_B$	Па			
4. Разрежение в топке котла	$\Delta S_T$	Па			
5. Температура питательной воды	$t_{пв}$	°С			
6. Температура питательной воды после экономайзера (сетевой воды после котла)	$t_{пв}$	°С			
7. Расход воды через водогрейный котел	$G_B$	т/ч			
8. Число часов работы котла в год	$\tau$	ч			
9. Среднегодовой коэффициент загрузки	$K_3$				
10. Температура уходящих газов за котлом	$t_3$	°С			
11. Температура уходящих газов за экономайзером	$t_3$	°С			
12. Содержание CO <sub>2</sub> в уходящих газах за агрегатом	CO <sub>2</sub>	%			
13. Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах за агрегатом	O <sub>2</sub>	%			
14. Содержание CO в уходящих газах за агрегатом	CO	%			

Окончание табл. 7.3

1	2	3	4	5	6
15. Коэффициент избытка воздуха за агрегатом	$\alpha_{yx}$				
16. Температура воздуха	$t_b$	°С			
17. Потеря тепла с уходящими газами	$q_2$	%			
18. Потеря тепла от химич. неполноты горения	$q_3$	%			
19. Потеря тепла в окружающую среду	$q_5$	%			
20. Коэффициент полезного действия (брутто)	$\eta_{ка}^{бр}$	%			
21. Часовой расход топлива (натурального)	$B_{ч}$	нм <sup>3</sup> /ч (кг/ч)			
22. Часовой расход условного топлива	$B_{ч(ут)}$	кг у.т./ч			
23. Экономия топлива (часовой)	$\Delta B$	м <sup>3</sup> /ч (кг/ч)			
24. Годовая экономия топлива					
25. Годовой лимит газа на котельную (цех)					
26. Годовой лимит газа на предприятие					
27. Процент экономии от годового лимита					
А) котельной (цеха)					
Б) предприятия					

Таблица 7.4

Режимная карта  
 работы парового котла \_\_\_\_\_ ст. № \_\_\_\_\_, рег. № \_\_\_\_\_,  
 установленного в котельной \_\_\_\_\_  
 горелки (форсунки) типа \_\_\_\_\_, кол-во \_\_\_\_\_  
 топливо – \_\_\_\_\_

№ п/п	Наименование величин	Обозначе- ние	Размер- ность	Значение параметров работы котла			
				5	6	7	8
<b>ИСХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ</b>							
1	Паропроизводительность котла	$D_k$	т/ч				
2	Теплопроизводительность котла	$Q_k$	МВт				
3	Давление пара в барабане котла	$P_k$	МПа				
4	Температура питательной воды до экономайзера	$t'_3$	°С				
<b>ПАРАМЕТРЫ НАСТРОЙКИ РЕЖИМА</b>							
5	Количество работающих горелок (форсунок)	$n$	шт.				
6	Температура питательной воды после экономайзера	$t''_3$	°С				
7	Часовой расход топлива	$B$	нм <sup>3</sup> /ч (кг/ч)				
8	Теплотворная способность топлива	$Q_H^p$	кДж/нм <sup>3</sup> (кДж/кг)				
9	Давление топлива на горелках	$P_T$	кПа				
10	Давление воздуха на горелках	$P_B$	Па				
11	Разрежение в топке	$S_T$	Па				
12	Разрежение за котлом	$S''_k$	Па				
13	Разрежение за экономайзером	$S''_3$	Па				

Окончание табл. 7.4

1	2	3	4	5	6	7	8
<b>КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ</b>							
14	Содержание CO <sub>2</sub> за котлом	CO <sub>2к</sub> <sup>н</sup>	%				
15	Содержание O <sub>2</sub> за котлом	O <sub>2к</sub> <sup>н</sup>	%				
16	Содержание CO <sub>2</sub> за экономайзером	CO <sub>2э</sub> <sup>н</sup>	%				
17	Содержание O <sub>2</sub> за экономайзером	O <sub>2э</sub> <sup>н</sup>	%				
18	Температура уходящих газов за котлом	t <sub>к</sub> <sup>н</sup>	°C				
19	Температура уходящих газов за экономайзером	t <sub>yx</sub>	°C				
20	Температура холодного воздуха	t <sub>хв</sub>	°C				
21	Температура воздуха на горелках	t <sub>гор</sub> <sup>н</sup>	°C				
<b>ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ</b>							
22	Удельный расход условного топлива	b <sub>ут</sub>	кг у.т./ГДж				
23	Удельный расход условного топлива с учетом продувки	b <sub>ут</sub> <sup>н</sup>	кг у.т./ГДж				
24	КПД котлоагрегата (брутто)	η <sub>к</sub> <sup>бр</sup>	%				
25	КПД котлоагрегата с учетом продувки	η <sub>к</sub> <sup>н</sup>	%				

## **8. Анализ проведенных режимно-наладочных испытаний**

В данном разделе указываются результаты, полученные при проведении режимно-наладочных испытаний и форма их представления:

- сводная таблица результатов испытаний котельного агрегата;
- режимная карта котельного агрегата;
- графики, показывающие характер изменения основных параметров работы котла в зависимости от нагрузки.

На основании полученных данных отмечаются максимальные, минимальные и промежуточные нагрузки, полученные при испытаниях (в % и в абсолютных величинах); указываются изменения коэффициента избытка воздуха, разрежение в топке и за котлом, аэродинамическое сопротивление элементов газового тракта, температура уходящих газов, давление газа и воздуха перед горелкой и т.д. (рис. 8.1–8.4).

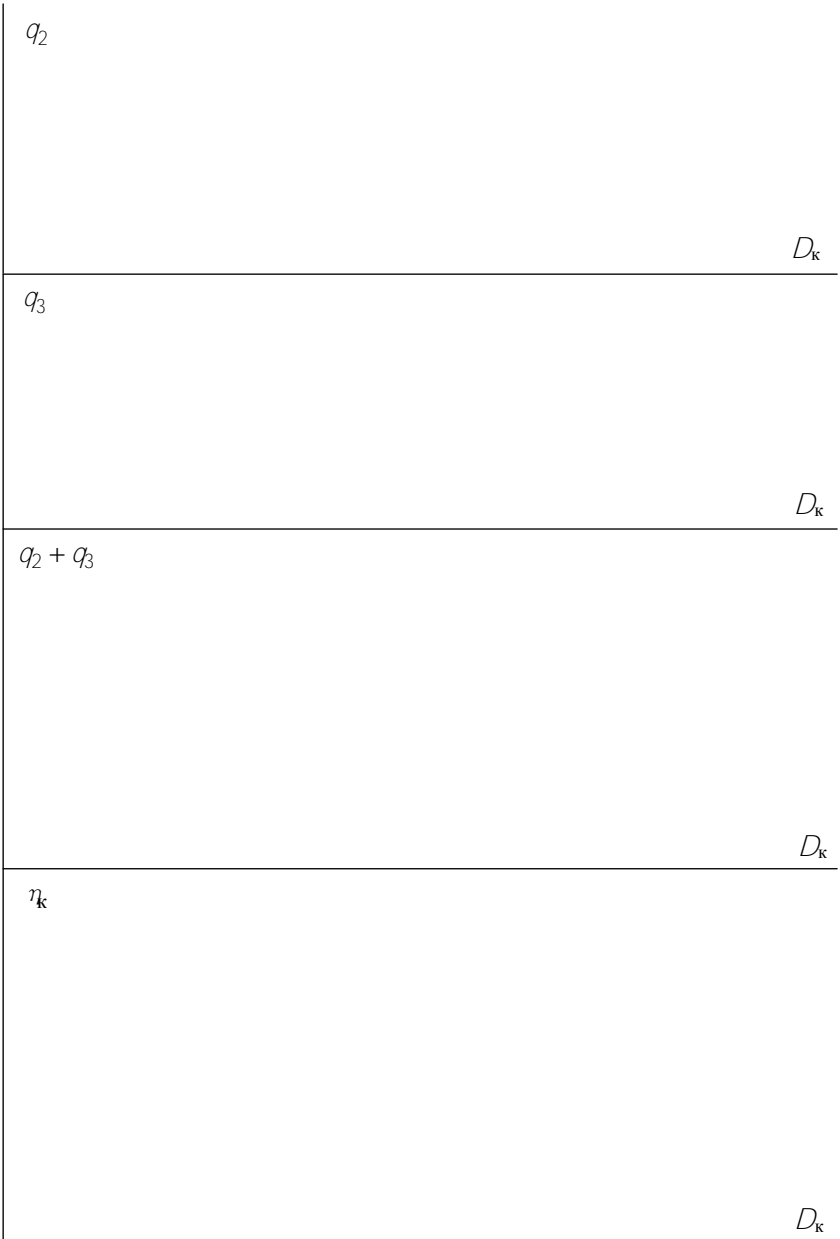


Рис. 8.1



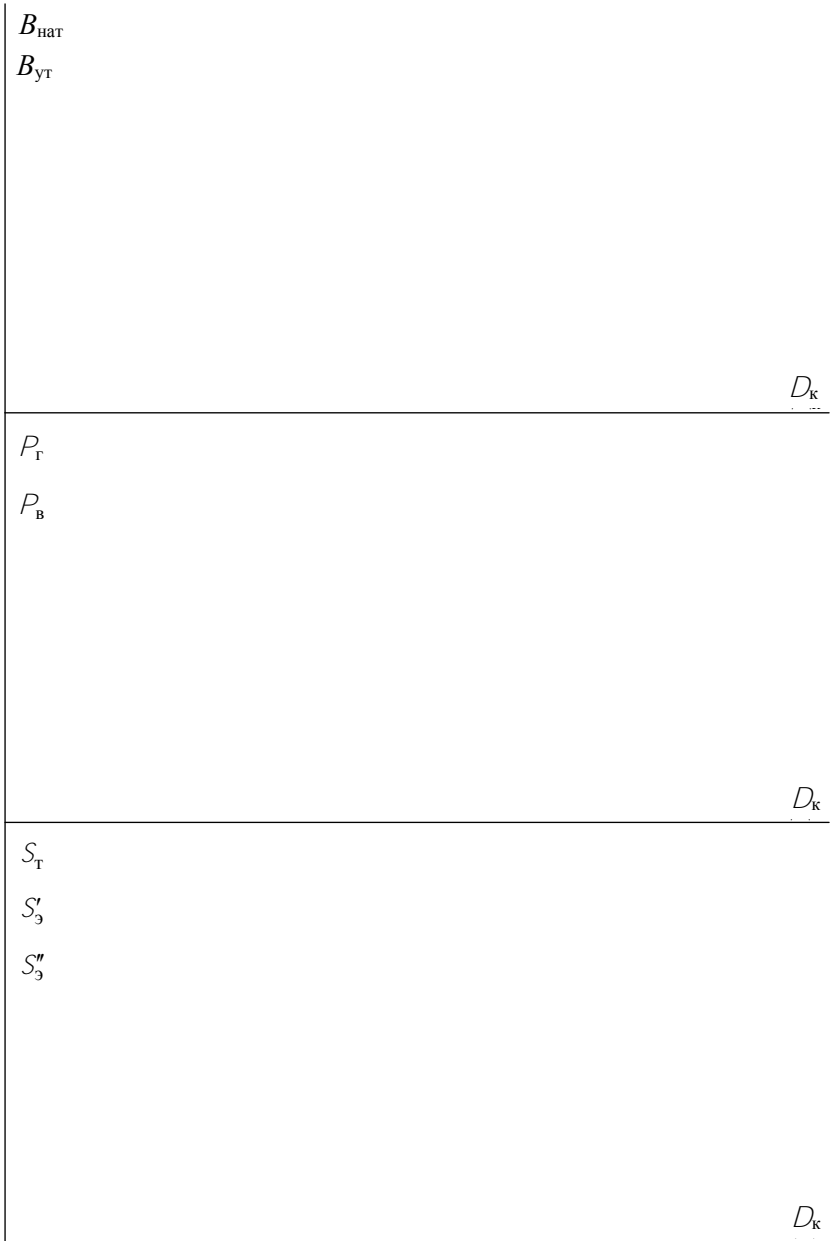


Рис. 8.2

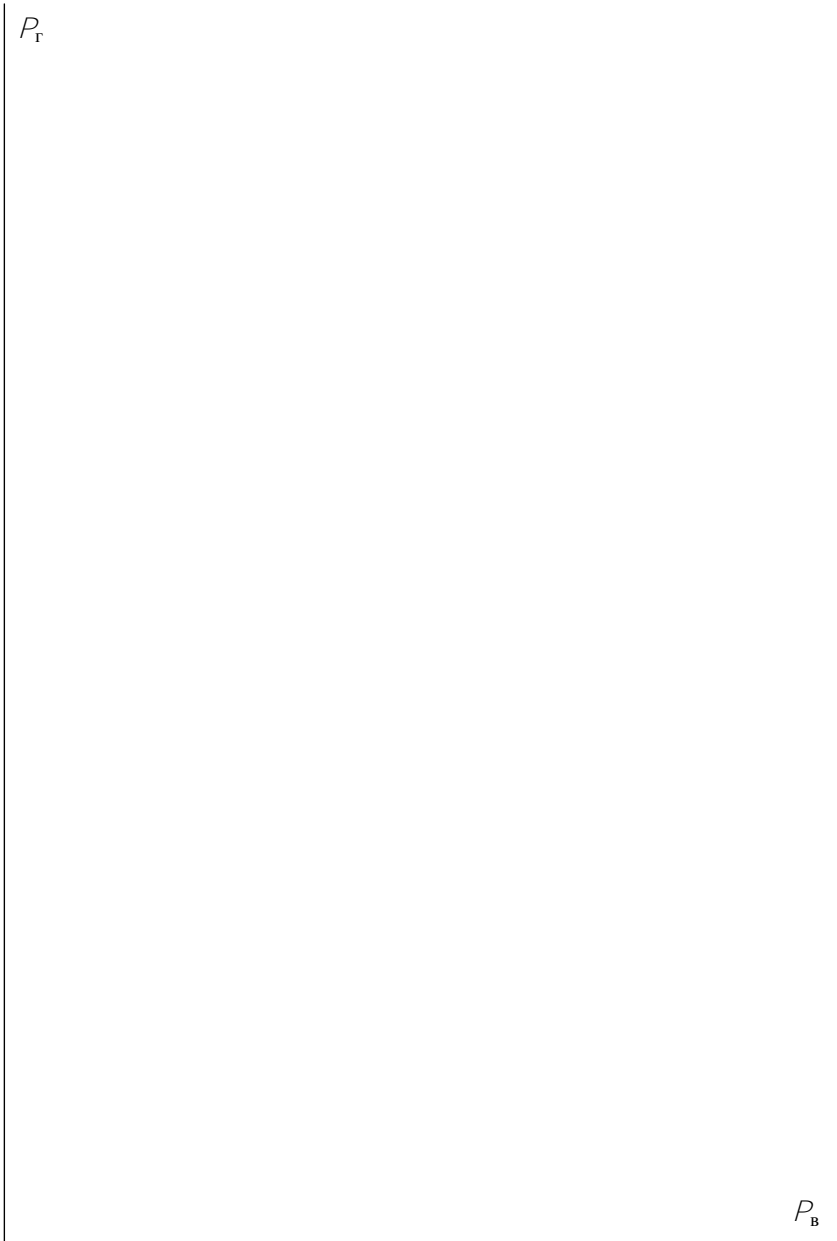


Рис. 8.3

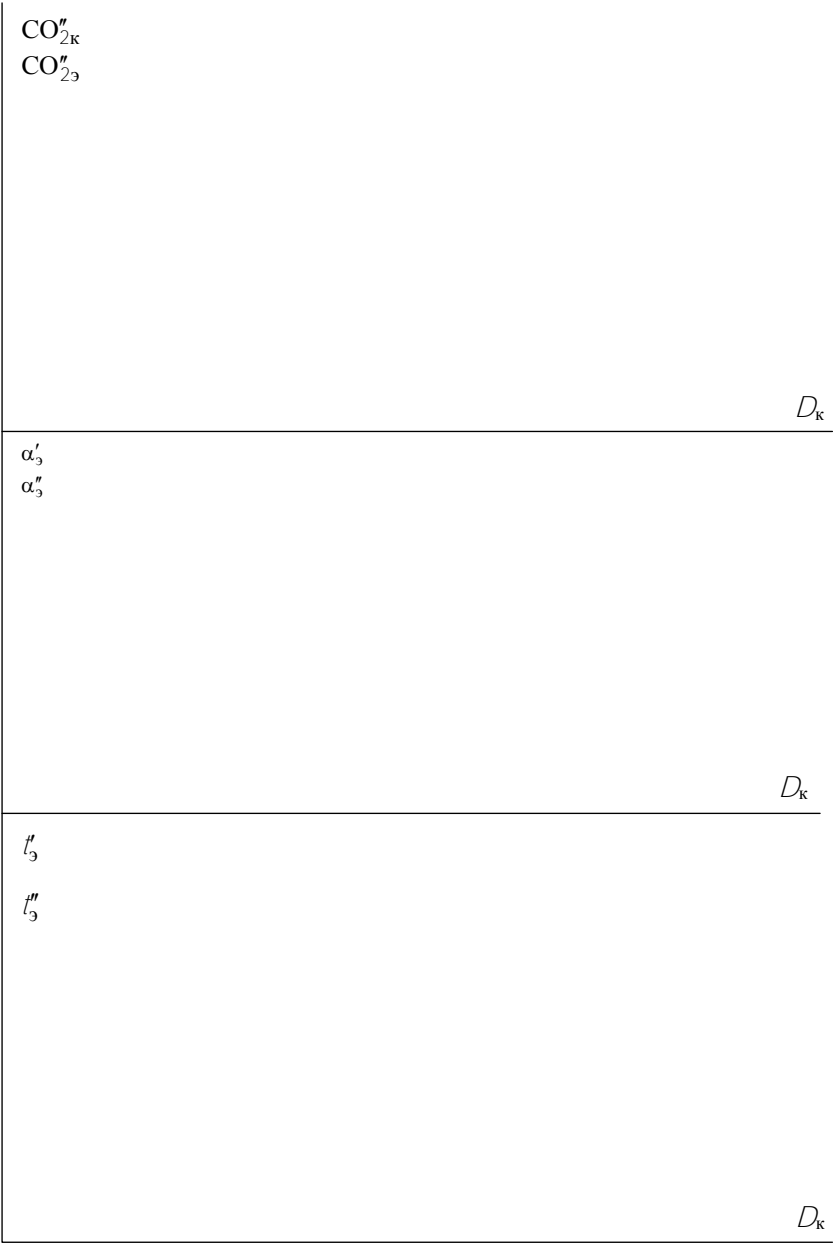


Рис. 8.4

Ниже представлена схема расположения точек замеров на испытуемом котле (рис. 8.5).

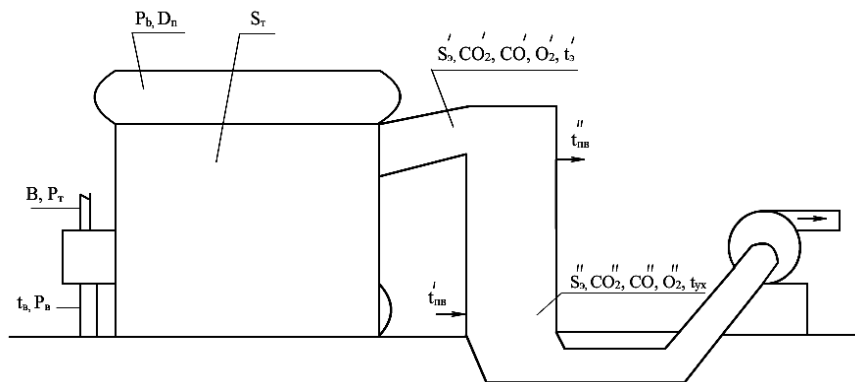


Рис. 8.5. Схема расположения точек замеров на испытуемом котле

## 9. Выводы и предложения

В выводах следует указать причины ограничения (если они есть) максимальных и минимальных нагрузок. Тут же следует привести рекомендации для персонала котельной по поддержанию экономичной и надежной работы котла.

## Список использованных источников

1. Равич, М.Б. Газ и эффективность его использования в народном хозяйстве / М.Б. Равич. – Л.: Недра, 1987.
2. Трёмбовля, В.И. Теплотехнические испытания котельных установок / В.И. Трёмбовля, Е.Д. Фингер, А.А. Авдеева. – М.: Энергия, 1977.
3. Пеккер, Я.Л. Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива / Я.Л. Пеккер. – М.: Энергия, 1977.
4. Равич, М.Б. Топливо и эффективность его использования / М.Б. Равич. – Л.: Недра, 1971.
5. Янкелевич, В.И. Наладка газомазутных промышленных котельных / В.И. Янкелевич. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Юренко, В.В.. Теплотехнические испытания котлов, работающих на газовом топливе / В.В. Юренко. – Л.: Недра. 1987.

Учебное издание

РУДЕНКОВ Борис Михайлович  
ВАСИЛЬЧЕНКОВА Екатерина Николаевна

РЕЖИМНО-НАЛАДОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ  
И РАЗРАБОТКА РЕЖИМНОЙ КАРТЫ  
ПРОМЫШЛЕННОГО КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Методическое пособие по составлению отчета  
о лабораторной работе

Редактор И.Ю. Никитенко  
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

---

Подписано в печать 19.03.2010.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,62. Уч.-изд. л. 2,05. Тираж 100. Заказ 480.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.