

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра „Теплотехніка та теплові двигуни”

ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи з дисципліни

**«КОТЕЛЬНІ УСТАНОВКИ ПРОМИСЛОВИХ
ПІДПРИЄМСТВ»**

Харків - 2009

Методичні вказівки розглянуто і затверджено до друку на засіданні кафедри «Теплотехніка і теплові

двигуни» 29 вересня 2008 р., протокол № 3.

Наведено методики експериментального визначення ККД котла по прямому і зворотному балансах.

Методичні вказівки призначені для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності «Теплоенергетика», що вивчають курс «Котельні установки промислових підприємств».

Укладачі:

старш. викл. В.К. Кадневський,
доценти Н.Г. Ніколенко,
А.А. Каграманян,
асист. П.В. Рукавишников

Рецензент

доц. Д.Ю. Бородін

ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи з дисципліни
*«Котельні установки промислових
підприємств»*

Відповідальний за випуск Кадневський В.К.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 20.11.08 р.
Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 0,75. Обл.-вид.арк. 1,0.
Замовлення № Тираж 100 Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, майд. Фейєрбаха, 7

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ І ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

*Механічний факультет
кафедра «Теплотехніка та теплові двигуни»*

ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи
з дисципліни *«Котельні установки промислових
підприємств»*

Харків – 2009

Методичні вказівки розглянуто і затверджено до друку на засіданні кафедри «Теплотехніка і теплові двигуни» 29 вересня 2008 р., протокол № 3.

Наведено методики експериментального визначення ККД котла по прямому і зворотному балансах.

Методичні вказівки призначені для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності «Теплоенергетика», що вивчають курс «Котельні установки промислових підприємств».

Склали:

старш. викл.	В.К. Кадневський,
доценти	Н.Г. Ніколенко,
	А.А. Каграманян,
асист.	П.В. Рукавишников

Рецензент

доц. Д.Ю. Бородін

1 ПІДГОТОВКА ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

У ході підготовки і виконання лабораторної роботи студенти ознайомлюються з методами теплотехнічних випробувань котельної установки.

Виконанню лабораторної роботи повинне передувати самостійне вивчення таких тем:

- класифікація котельних установок [1];
- загальне рівняння теплового балансу котла, поняття про ККД брутто і ККД нетто [1];
- діаграма $I - \Theta$, способи її побудови [1, 2];
- розташовувана теплота палива [1, 2];
- коефіцієнт надлишку повітря, способи його визначення [1,2];
- методи вимірювання температури, тиску, витрати води і пари, складу димових газів [3, 4].

Крім зазначених тем, студенти під керівництвом викладача вивчають компонування котельної установки академії, будову і роботу окремих систем, вимірювальну апаратуру.

2 ЗАВДАННЯ РОБОТИ

Теплотехнічні випробування котельної установки проводять з метою налагодження і визначення її техніко-економічних показників. Розрізняють кілька видів випробувань.

У ході експлуатаційних (балансових) випробувань установлюють розподіл внесеної в агрегат теплоти на корисно використовувану й окремі втрати, а також визначають ККД котла брутто або нетто. Балансові випробування проводяться для встановлення нормативних експлуатаційних характеристик при розрахункових параметрах пари після

закінчення періоду освоєння проектної потужності на котлоагрегатах, що вводяться знову в експлуатацію після реконструкції, у зв'язку з переходом на спалювання нового виду або нової марки палива або при систематичному відхиленні параметрів від нормативних.

Гарантійно-приймальні випробування проводять для перевірки показників, гарантованих постачальником устаткування. У ході цих випробувань визначають параметри пари, паропродуктивність, якість пари, показники роботи допоміжного устаткування, роблять складання повного теплового балансу котельної установки.

Режимно-налагоджувальні і довідні випробування проводять з метою налагодження режиму роботи котла і визначення його окремих показників, наприклад, оптимального коефіцієнта надлишку повітря, тонкості помелу вугілля, оптимального розподілу повітря по пальниках, оптимального навантаження при різному складі допоміжного устаткування і т.д.

Експлуатаційні експрес-випробування виконують після типових капітальних ремонтів котла з метою визначення їхньої якості й уточнення характеристик роботи устаткування в результаті проведення ремонтних робіт.

Спеціальні і дослідні випробування проводять для одержання характеристик роботи якого-небудь елемента котла (пароперегрівника, топки, пальника, водяного економайзера і т.д.).

У даній лабораторній роботі студентам пропонується виконати балансові випробування котла.

Аналіз результатів балансових випробувань дозволяє скласти режимну карту з вказівкою оптимальних параметрів котельної установки для різних навантажень. Критерієм оптимальності роботи є досягнення найбільшого ККД котла $\eta_{ка}$, який може бути визначений методом прямого або зворотного теплового балансу.

Визначення $\eta_{ка}$ за прямим тепловим балансом при відсутності продувки виконується за формулою

$$\eta_{\text{e}\ddot{a}} = q_1 = \frac{Q_1}{Q_p^p} \cdot 100\% = \frac{D_{\text{ii}} \cdot (i_{\text{ii}} - i_{\text{ia}}) + D_{\text{ii}} \cdot (i_{\text{ii}} - i_{\text{ia}})}{B_{\text{d}} \cdot Q_{\text{d}}^{\text{d}}}, \quad (1)$$

де Q_1 – теплота, витрачена на виробництво пари;
 Q_p^p – розташовувана теплота палива;
 $D_{\text{пп}}$ – витрата перегрітої пари;
 $D_{\text{нп}}$ – витрата насиченої пари;
 $i_{\text{пп}}$ – ентальпія перегрітої пари;
 $i_{\text{нп}}$ – ентальпія насиченої пари;
 $i_{\text{нп}}$ – ентальпія живильної води;
 $B_{\text{т}}$ – витрата палива.

Для лабораторної установки академії $D_{\text{пп}} = 0$, тому що продукцією котла є тільки насичена пара.

За методом зворотного теплового балансу

$$\eta_{\text{e}\ddot{a}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \quad (2)$$

де q_2, q_3, q_4, q_5, q_6 , - відповідно відносні втрати теплоти з відхідними газами від хімічної неповноти згоряння; механічної неповноти згоряння; через обмуровування котла; з фізичним теплом шлаку. Для умов лабораторної установки академії $q_4 = 0$ та $q_6 = 0$.

У потужних котлах, що працюють на твердому паливі, точне визначення ККД за прямим балансом становить труднощі. Це пов'язано зі складністю вимірювання кількості спаленого за визначений час палива. Між автоматичними вагами і топкою залишається велика кількість палива в різних ємностях, облік якого затруднений. Значно простіше використання методу прямого теплового балансу при випробуваннях котлів невеликої потужності і при використанні рідких і газоподібних палив.

Метод зворотного теплового балансу зводиться до визначення суми втрат теплоти і тому виключає необхідність заміру витрати палива.

Для котлів невеликої потужності обидва методи за точністю практично рівноцінні.

У ході лабораторної роботи пропонується визначити $\eta_{ка}$ методами прямого і зворотного теплових балансів і порівняти отримані результати.

3 ОПИС УСТАНОВКИ. СХЕМА ОРГАНІЗАЦІЇ ВИМІРЮВАНЬ

У лабораторії академії встановлений котел Е–1/9–1Г виробництва Таганрозького котельного заводу «Червоний котельник».

Котел має такі характеристики:

розрахункова паропродуктивність	– 1000 кг/год;
розрахунковий тиск насиченої пари в барабані котла	– 0,9 МПа ;
об'єм топкової камери	– 2,24 м ³ ;
поверхня нагрівання випарна	– 30 м ² ;
число газових пальників	– 1;
тип пальника	– короткофакельний пальник Г–1СК для роботи на природному газі тиску 150 – 250 мм вод.ст.

Схема установки приладів для вимірювання параметрів пари, води, повітря і димових газів наведена на рисунку 1, перелік вимірюваних величин – у таблиці 1.

У навчальній роботі припустимо проводити вимірювання за II класом точності, що забезпечує похибку обчислення ККД $\pm 5\%$ (за I класом точності похибка визначення ККД не перевищує $\pm 2\%$).

Вимірювання всіх параметрів повинні виконуватися на сталому режимі одночасно всіма спостерігачами. Для виключення випадкових похибок на кожному режимі потрібно виконувати кілька вимірювань з наступною статистичною обробкою.

Необхідні пояснення щодо обробки результатів вимірювань за методом зворотного теплового балансу наведені в таблиці 2, по методу прямого теплового балансу – у таблиці 3.

На рисунку 2 поданий загальний вигляд I – Θ діаграми для продуктів згоряння природного газу.

На рисунку 3 поданий загальний вигляд I – Θ діаграми для повітря. Діаграму необхідно побудувати, використовуючи

методику, викладену в [2, п. 4.01 – 4.09], на підставі даних про елементарний склад газу. Діаграма використовується при визначенні ентальпії продуктів згоряння за котлом.

Таблиця 1 - Параметри, що вимірюються в ході експерименту

Найменування величин	Позначення	Одиниця виміру	Значення
1 Температура повітря в котельні	t_0	$^{\circ}\text{C}$	
2 Барометричний тиск	p_0	МПа	
3 Температура живильної води	$t_{\text{пв}}$	$^{\circ}\text{C}$	
4 Тиск у барабані котла	p_6	МПа	
5 Витрата пари	D	кг/с	
6 Розрідження в топці	$h_{\text{т}}$	Па	
7 Розрідження за котлом	h	Па	
8 Температура газів за котлом	t_{yx}	$^{\circ}\text{C}$	
9 Витрата палива	$B_{\text{т}}$	$\text{м}^3/\text{с}$	
10 Склад відхідних газів за котлом (за даними газового аналізу):			
триатомні гази	RO_2	%	
кисень	O_2	%	
водень	H_2	%	
граничні вуглеводні	CH_4	%	
неграничні вуглеводні	C_mH_n	%	
окис вуглецю	CO	%	

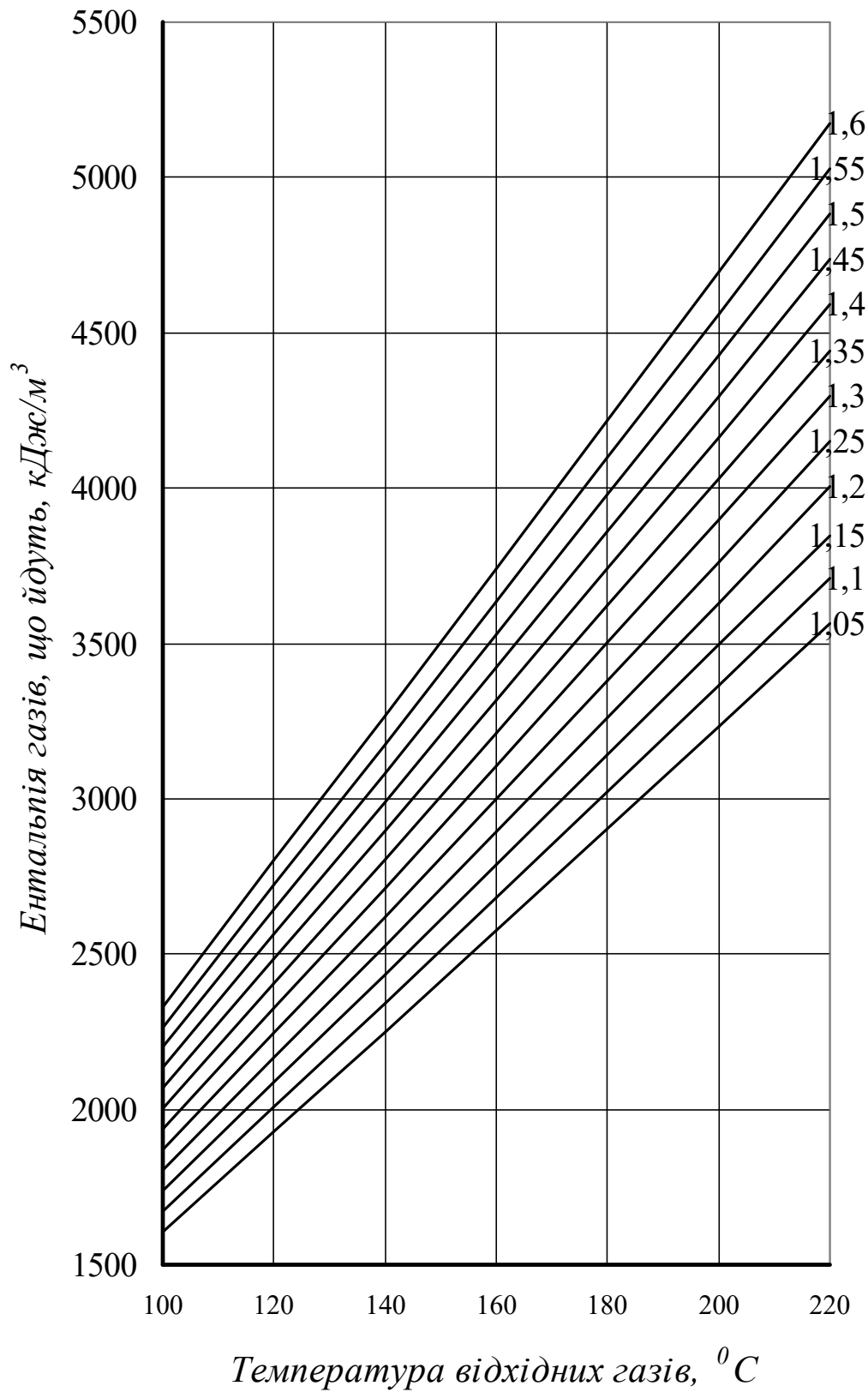


Рисунок 2 - / – Θ діаграма продуктів згоряння газу при різних значеннях α_{yx}

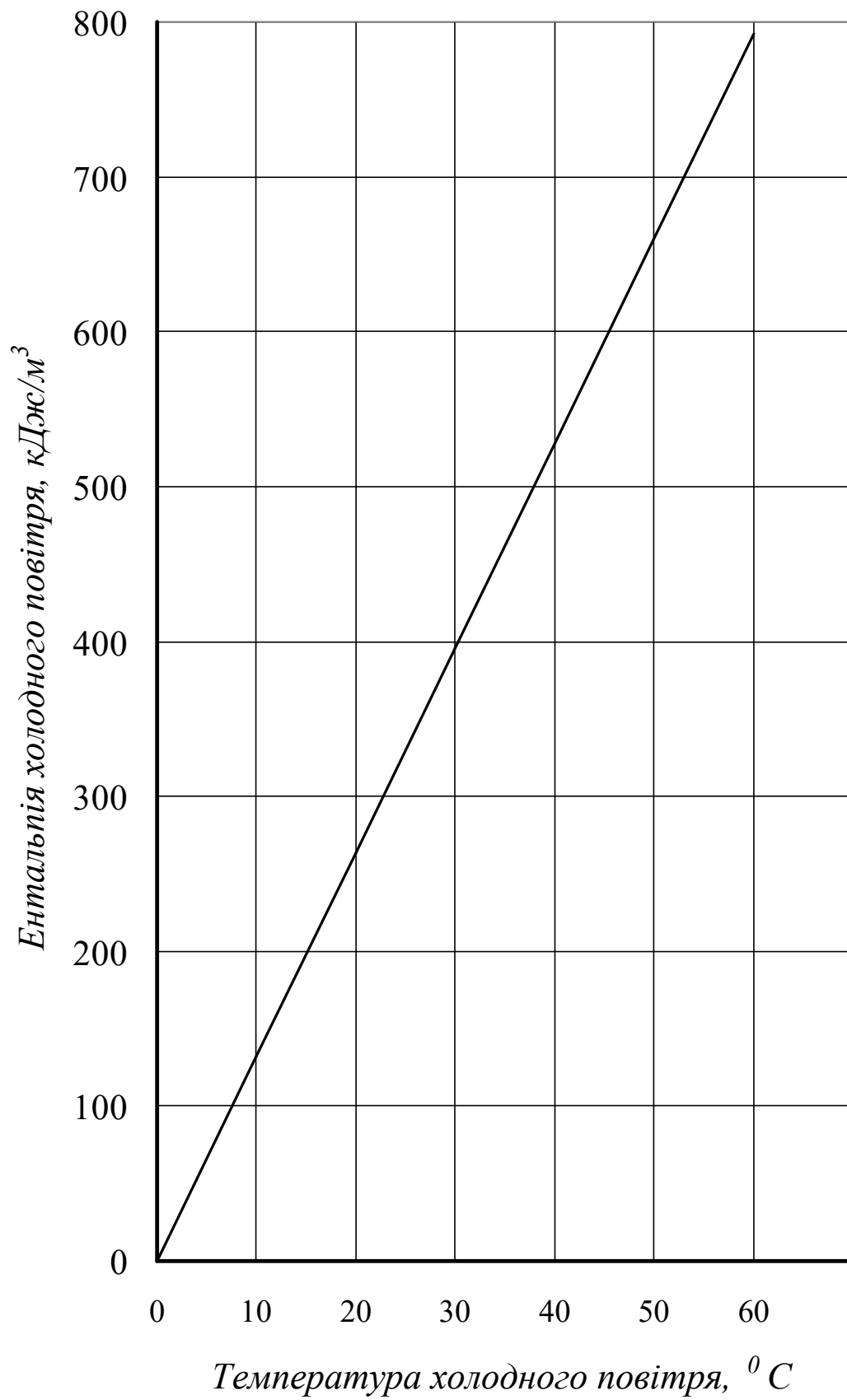


Рисунок 3 - I – Θ діаграма холодного повітря

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1 Поясніть, чому при спалюванні газу в топці котла $Q_H^p = Q_H^c$.

2 Чому при спалюванні газоподібного палива $q_4 = 0$ та $q_6 = 0$.

3 Поясніть сутність методів визначення ККД котла за прямим і зворотним балансами.

4 Поясніть, з яких міркувань призначають температуру відхідних газів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Сидельковский Л.Н., Юренев Б.Н. Котельные установки промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 528 с.

2 Тепловой расчет котельных агрегатов / нормативный метод. - М.: Энергия, 1973.

3 Иванова Г.М. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергоатомиздат. – 1984. - 232 с.

4 Трембовля З.И. Теплотехнические испытания котельных установок. - М.: Энергия, 1977. - 296 с.

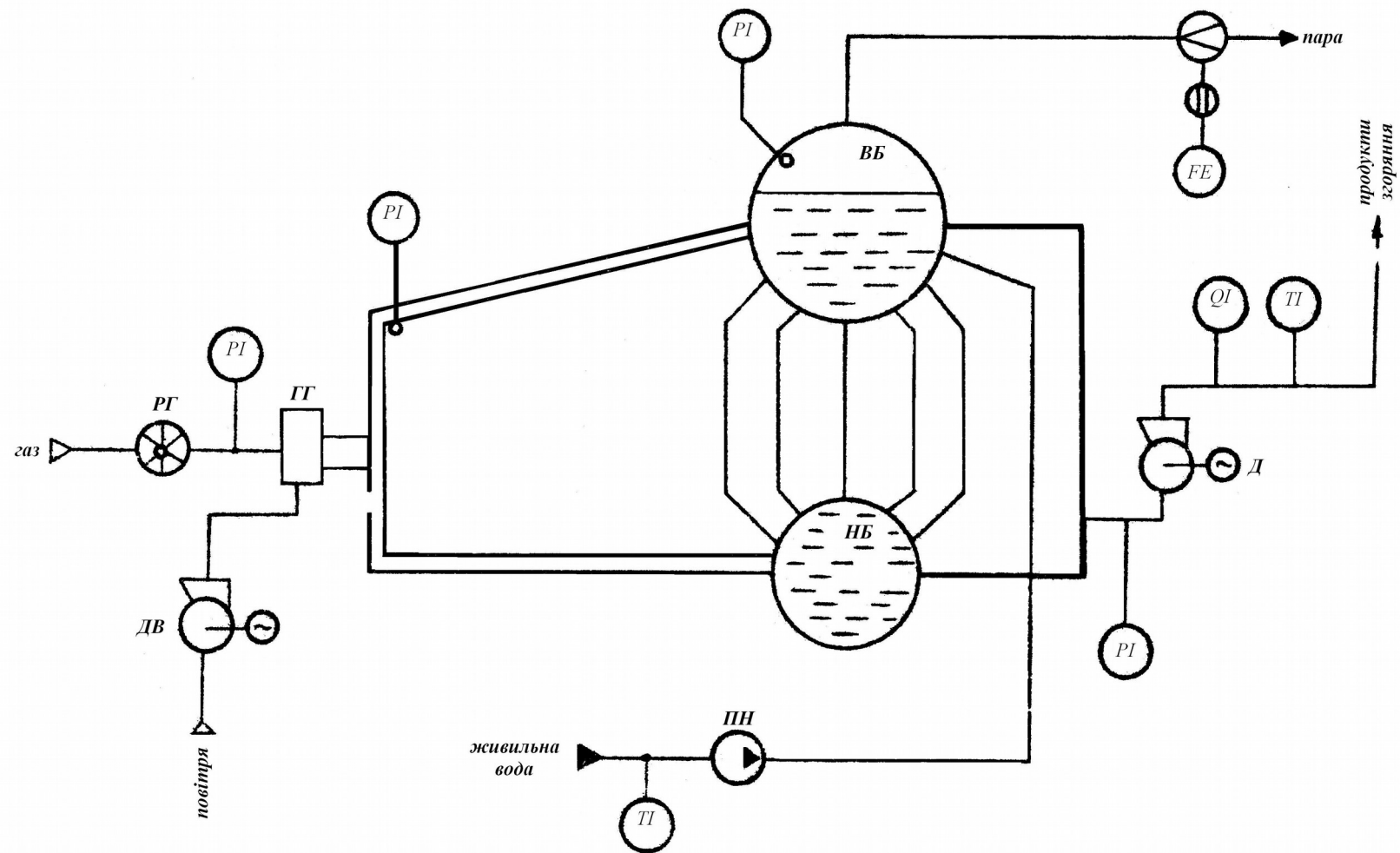


Рисунок 1 - Схема замірів параметрів роботи котла

Таблиця 2 - Визначення $\eta_{ка}$ за зворотним тепловим балансом

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Спосіб одержання величин та значення
1	2	3	4
1 Склад газоподібного палива:			За таблицею II [2, с. 168] або за результатами аналізу палива
метан	CH_4^T	%	
етан і більш важкі	$C_mH_n^T$	%	
азот	N_2^T	%	
діоксид вуглецю	CO_2^T	%	
сірководень	H_2S^T	%	
кисень	O_2^T	%	
оксид вуглецю	CO^T	%	
водень	H_2^T	%	
2 Теплота згоряння	Q_p^p	кДж/м ³	За таблицею II [2, с. 168] знаходимо Q_n^c . Для умов випробування $Q_p^p = Q_n^c$.
3 Паливна характеристика	β		За формулою (1.49) [1] $\beta = \frac{0,209 \cdot N_2^{\circ} + 0,395 \cdot CO^{\circ} + 0,396 \cdot H_2^{\circ} + 1,58 \cdot CH_4^{\circ} + 2,389 \cdot C_mH_n^{\circ} - 0,791 \cdot \hat{I}_2^{\circ}}{CO_2^{\circ} + 0,994 \cdot CO^{\circ} + 0,995 \cdot CH_4^{\circ} + 2,001 \cdot C_mH_n^{\circ}} - 0,791$
4 Вміст оксиду вуглецю у відхідних газах	CO	%	За результатами вимірювань або при відсутності інших продуктів неповного згоряння за формулою (1.49) [1] $\tilde{NO} = \frac{(21 - \beta \cdot RO_2) - (RO_2 + O_2)}{0,605 + \beta}$

Продовження таблиці 2

1	2	3	4
5 Коефіцієнт надлишку повітря за котлом	α_{yx}		Для палив, у яких вміст азоту малий, можна використовувати формулу (1.56) [1] $\alpha_{\dot{o}\dot{o}} = \frac{1}{1 - \frac{79}{21} \cdot \frac{(O_2 - 0,5 \cdot CO - 0,5 \cdot H_2 - 2 \cdot CH_4)}{N_2}}$ де O_2, CO, H_2, CH_4, N визначені у відхідних газах за котлом. $N = 100 - O_2 - RO_2 - CO - H_2 - CH_4$.
6 Ентальпія відхідних газів котлом	I_{yx}	$\kappaДж/м^3$	За діаграмою $I - \Theta$ (рисунок 2) у залежності від значень α_{yx} і t_{yx}
7 Ентальпія теоретично необхідної кількості холодного повітря	$I_{\text{в}}^0$	$\kappaДж/м^3$	За діаграмою $I - \Theta$ (рисунок 3) у залежності від температури t_0
8 Відносні втрати теплоти з відхідними газами	q_2	%	$q_2 = \frac{I_{\dot{o}\dot{o}} - \alpha_{\dot{o}\dot{o}} \cdot I_{\dot{a}}^0}{Q_p^p} \cdot 100$
9 Обсяг сухих газів за котлом	$V_{\text{сг}}$	$м^3/м^3$	$V_{\dot{n}\dot{a}} = \frac{CO_2^{\dot{o}} + CO^{\dot{o}} + H_2S + \sum m C_m H_n^{\dot{o}}}{RO_2 + CO + CH_4 + \sum m C_m H_n}$
10 Відносні втрати теплоти від хімічної неповноти згорання	q_3	%	$q_3 = \frac{126,5 \cdot \tilde{N}\dot{I} + 108,1 \cdot \dot{I}_2 + 358,5 \cdot \tilde{N}\dot{I}_4 + 591,2 \cdot \tilde{N}_{\dot{o}} \dot{I}_n}{Q_p^p} \cdot 10^4$ Можлива ситуація, коли в відхідних газах $H_2 = 0, CH_4 = 0$ і $C_m H_n = 0$
11 Відносні втрати теплоти від зовнішнього охолодження	q_5	%	За графіком рисунка 5.1 [2, с. 21]
12 ККД котла бруто	$\eta_{\text{ка}}$	%	$100 - (q_2 + q_3 + q_5)$

Таблиця 3 - Визначення $\eta_{ка}$ за прямим тепловим балансом

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Спосіб одержання величин та значення
1 Абсолютний тиск у барабані котла	p_0^{abc}	МПа	$p_0^{abc} = p_0 + p_0 \cdot 10^{-6}$
2 Ентальпія живильної води	$i_{пв}$	кДж/кг	За таблицею XXIV [2, с. 205] за відомою $t_{пв}$
3 Ступінь сухості пари в паропроводі за котлом	x		Визначається за допомогою дросельного калориметра. Для котла Е-1/9-Г можна прийняти $x = 0,97$
4 Теплота пароутворення	r	кДж/кг	За таблицею XXIII [2, с. 204] за відомим p_0^{abc}
5 Ентальпія котлової води	i'	кДж/кг	За таблицею XXIII [2, с. 204] за відомим p_0^{abc}
6 Ентальпія вологої пари	i_x	кДж/кг	$i_x = i' + r \cdot x$
7 Теплота, корисно використувана в котлі	Q_1	кДж/кг	При відсутності продування під час випробування $Q_1 = \frac{D \cdot (i_x - i_{i\bar{a}})}{B_0}$
8 ККД котла, брутто	$\eta_{ка}$		$\eta_{\hat{e}\hat{a}} = q_1 = \frac{Q_1}{Q_p^p}$
9 Питома витрата теплоти	ΔI_p	кДж/кг	$\Delta I_p = \frac{(i_x - i_{i\bar{a}})}{\eta_{\hat{e}\hat{a}}}$
10 Витрата натурального палива на 1т пари	B_p	кг/т	$\hat{A}_\delta = \frac{\Delta I_p \cdot 1000}{Q_p^p}$
11 Теплопродуктивність котла	Q	МВт	$Q = \frac{D \cdot (i_x - i_{i\bar{a}})}{1000}$

