

ГЛАВА 2

РАСЧЕТ КОТЛА

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОТЛЕ

Котельный агрегат КВ-ГМ-1,6 с принудительной циркуляцией, предназначен для получения горячей воды с номинальной температурой 95 °С при факельном сжигании природного газа и дизельного топлива.[12]

Котел выполнен в газоплотном исполнении, имеет горизонтальную компоновку, состоит из топочной камеры и конвективного газохода.

Котельный агрегат рассчитан на следующие параметры:

а) Номинальная производительность 1,6 МВт.

б) Давление воды на входе 0,7МПа.

в) Температура уходящей воды 95 °С.

Топочная камера прямоугольной формы, образована экранными трубами, выполненными из стальных труб. Подовый и потолочный экран представлен трубами с наружным диаметром 57 мм, толщина стенки 3 мм с шагом труб 75 мм. Боковые экраны представляют собой горизонтально расположенные трубы с наружным диаметром 57 мм, толщина стенки 3 мм с шагом труб 75 мм.

Конвективная часть состоит из пакета U – образных коридорных труб диаметром 32 мм, потолочного и подового экрана с диаметром 50 мм с шагом 80 мм.

С фронта котла расположена неохлаждаемая открываемая фронтальная плита, на которую устанавливается горелочное устройство РГМГ-2п.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Федосов Э.В.			Расчет котла		
Провер.		Абрамов И.Л.					
Руководит.		Абрамов И.Л.					
Зав.Кафедр.		Богомолов А.Р					
Утверд.							
					Лит.	Лист	Листов
						41	29
					КузГТУ ТЭмз-161		

Таблица 1.1 Характеристики РГМГ-2п

Наименование показателей	РГМГ-2, РГМГ-2п
Номинальная тепловая мощность, МВт	2,2
Коэффициент рабочего регулирования, не менее - при сжигании газа - при сжигании жидкого топлива	4
Номинальное давление жидкого топлива, (за блоком клапанов), кПа	26±5,2
Номинальный расход жидкого топлива, кг/ч	196
Кинематическая вязкость жидкого топлива перед горелкой, мм ² /сек, не более	44
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	238
Номинальное давление газа перед горелкой, кПа	3,15±0,63
Температура газа перед горелкой, °С	От 10 до 40
Температура воздуха перед горелкой, °С	От 0 до 40
Электродвигатель форсунки: - потребляемая мощность, кВт, не более - частота вращения (синхронная), мин-1 - номинальное напряжение питания, 3 фазы, 50 Гц, В	1,5 3000 380
Номинальное напряжение питания электромагнитов привода заслонки и блока клапанов (50 Гц), В	220
Габаритные размеры, мм, не более - длина x ширина x высота	755x758x870
Масса, кг	150

Котёл имеет газоплотное исполнение, изолирован изоляционным материалом и обшит металлическим листом. Пространство между головным патрубком горелки и футеровкой плиты фронтальной тщательно уплотняется материалом с огнеупорностью не ниже 1000 °С.

Нижними коллекторами котел приваривается на швеллерный фундамент высотой 60 мм. Швеллерный фундамент, в свою очередь, приваривается к полу котельной (если он металлический), либо крепится на анкера, забетонированные в бетонном полу.

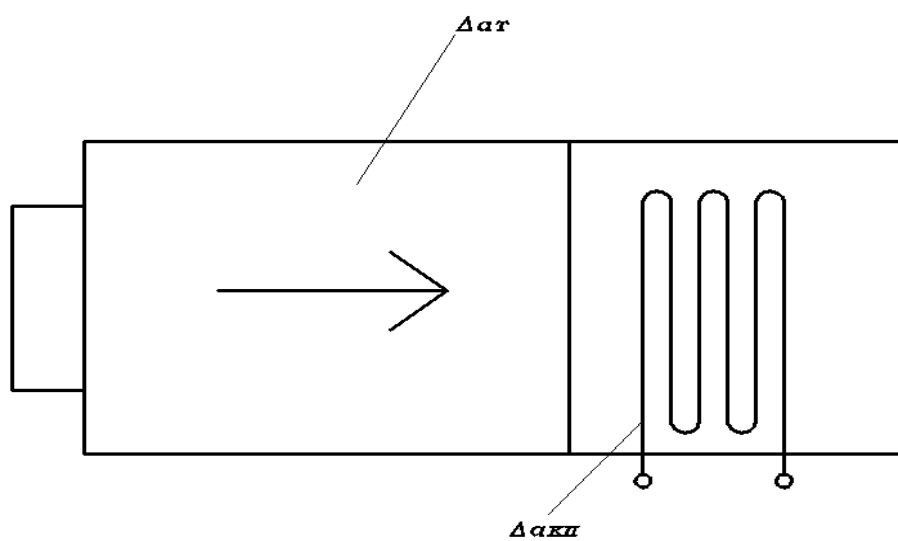
На фронтальной стенке котла имеются смотровые лючки.

Котёл оборудуется одним или двумя взрывными клапанами над топочной частью котла. Взрывной предохранительный клапан предназначен для сбрасывания давления газов в топке котла при достижении его критического значения. Когда давление газов достигает критического значения, разрывается диафрагма, изготовленная из листа асбестового толщиной 5 мм. В случае срабатывания клапана, диафрагму необходимо заменить.

						Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В эксплуатацию принимаем 4 котла данного типа.

Рис. 1.1 Схема движения дымовых газов и присосов воздуха.



2 ТОПЛИВО

В качестве топлива применяется природный газ.

Топливо, природный газ, имеет состав, представленный в табл. 2.1.[13]

Таблица 2.1. Рабочий объем топлива

	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_5H_{12}
%	92,66	5,04	0,45	1,85
$Q, \text{МДж} / \text{м}^3$	35,88	64,36	93,18	156,63

Низшая теплота сгорания заданного топлива, определяется по формуле:

$$Q_H^P = 0,01 \left(Q_{H_2S} H_2S + Q_{CO} CO + Q_{H_2} H_2 + \sum Q_{C_m H_n} C_m H_n \right), \text{МДж} / \text{м}^3 \quad (2.1)$$

где Q_{H_2S} , Q_{CO} и т.д – теплота сгорания каждого газа, входящего в состав топлива, $\text{МДж} / \text{м}^3$;

H_2S , CO и т.д – содержание отдельных газов в топливе в % по объему.

$$Q_H^P = 0,01 \cdot (35,88 \cdot 92,66 + 64,36 \cdot 5,04 + 93,18 \cdot 0,45 + 156,63 \cdot 1,85) = 39,807 \text{ МДж} / \text{м}^3$$

Принимаем расчетную теплоту сгорания топлива:

$$Q_H^P = 39,807 \text{ МДж} / \text{м}^3.$$

Количество воздуха, необходимого для полного сгорания топлива:

$$V^0 = 0,0476 \left(0,5 CO + 0,5 H_2 + 1,5 H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right) \quad (2.2)$$

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left(\left(1 + \frac{4}{4} \right) \cdot 92,66 + \left(2 + \frac{6}{4} \right) \cdot 5,04 + \left(3 + \frac{8}{4} \right) \cdot 0,45 + \left(5 + \frac{12}{4} \right) \cdot 1,85 \right) = 10,47 \text{ , м}^3 / \text{м}^3$$

Избыток воздуха в продуктах сгорания за i – й поверхностью нагрева:

$$\alpha_i = \alpha_m + \sum_{n=1}^i \Delta \alpha_n,$$

где $\Delta \alpha_n$ – присос воздуха в i – й поверхности нагрева.

Принимаем значение коэффициента избытка воздуха в топке. Так как топка камерная на природном газе принимаем $\alpha_T = 1,05 + 0,041 = 1,091$ [13]

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

В соответствии со схемой компоновки котла КВ-ГМ-1,6 (рис. 2.1) назначаем величину присосов воздуха по газоходам котла:

- присос воздуха в топке с учетом горелки $\Delta\alpha_{\text{т}} = 0,041$;
- присос воздуха в конвективном пучке $\Delta\alpha_{\text{кп1}} = 0,02$;

						Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 ОБЪЕМ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Объем продуктов сгорания с учетом избытка воздуха в топке за любой поверхность нагрева:

$$V_{zi} = V_z^0 + 1,0161(\alpha_i - 1)V^0, \quad (3.1)$$

где $V_z^0 = V_{RO_2}^0 + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0$ – объем газов за рассматриваемой поверхностью нагрева, $\text{м}^3/\text{кг}$; $V_{RO_2}^0; V_{N_2}^0; V_{H_2O}^0$ – объем трехатомных газов, азота и водяных паров при $\alpha = 1$; α_i – коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания за рассматриваемой поверхностью нагрева;

1,0161 – коэффициент, учитывающий содержание влаги в воздухе.

Объем трехатомных газов:

$$V_{RO_2}^0 = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + \sum m C_m H_n), \quad \text{м}^3/\text{м}^3 \quad (3.2)$$

Объем водяных паров:

$$V_{H_2O}^0 = 0,01(H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{m} C_m H_n + 0,124 d_{z.ml}) + 0,0161 V^0, \quad \text{м}^3/\text{м}^3 \quad (3.3)$$

где $d_{z.ml}$ – влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к 1 м^3 сухого газа, $\text{г}/\text{м}^3$

Объем азота:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 V^0 + 0,01 N_2, \quad \text{м}^3/\text{м}^3 \quad (3.4)$$

Полный объем газов:

$$V_z^0 = V_{RO_2}^0 + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0, \quad \text{м}^3/\text{м}^3 \quad (3.5)$$

Расчеты заносим в таблице 3.1

						Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 3.1 Объем продуктов сгорания

Наименование газов, расчетные формулы	Обозн.	Ед. изм.	Наименование газо- хода	
			Т	КП
			$\alpha_T=1,09$ 1	$\alpha_{КП}=1,111$
Теоретический объем трехатомных газов	$V_{RO_2}^o$	$\frac{M^3}{M^3}$	1,13	
Теоретический объем азота	$V_{N_2}^o$	$\frac{M^3}{M^3}$	8,27	
Теоретический объем водяных паров	$V_{H_2O}^o$	$\frac{M^3}{M^3}$	2,31	
Объем избыточного воздуха	ΔV	$\frac{M^3}{M^3}$	0,95	1,16
Объем водяных паров, вносимых в избытке воздуха	$\Delta V_{H_2O}^o$	$\frac{M^3}{M^3}$	0,015	0,019
Действительный объем продуктов сгорания	V_z	$\frac{M^3}{M^3}$	12,68	12,89

4 ЭНТАЛЬПИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ И ВОЗДУХА

Теоретическая энтальпия дымовых газов:

$$V_z^0 = \left(V_{RO_2}^0 \cdot C_{P_{RO_2}} + V_{N_2}^0 \cdot C_{P_{N_2}} + V_{H_2O}^0 \cdot C_{P_{H_2O}} \right) \cdot t, \quad (4.1)$$

где $C_{P_{RO_2}}$, $C_{P_{N_2}}$, $C_{P_{H_2O}}$ – изобарные массовые теплоемкости газов, кДж/(м³·°C); t – теоретическая температура (100...2000 °C).

Теоретическая энтальпия воздуха:

$$I_B^0 = C_{P_B} \cdot V^0 \cdot t, \quad (4.2)$$

где C_{P_B} – изобарная массовая теплоемкость воздуха, кДж/(м³·°C);

Энтальпия реальных дымовых газов:

$$I_z = I_T^0 + (\alpha - 1) I_B^0. \quad (4.3)$$

Результаты вычислений занесены в табл. 4.1 на основании которой построена $I - t$ диаграмма.

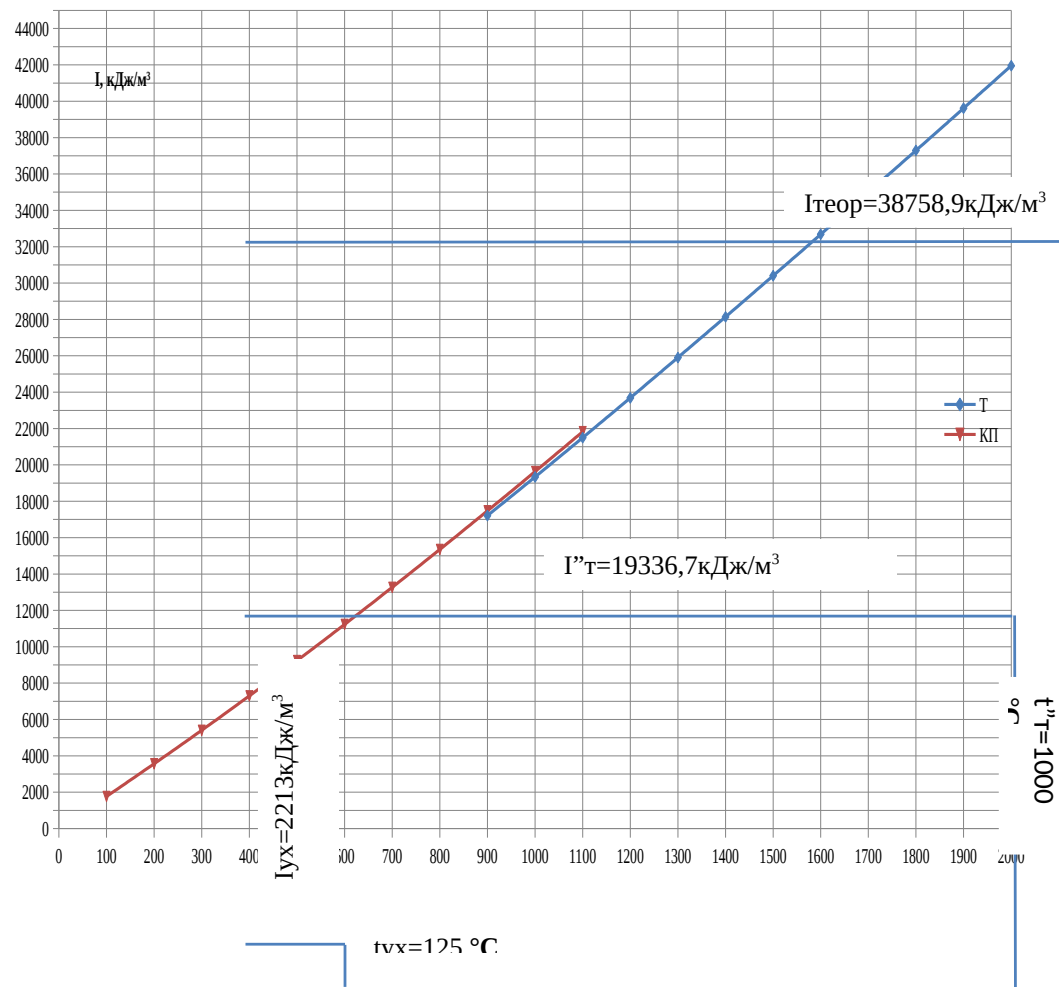
Таблица 4.1 Исходные данные для построения (в-т) диаграммы

t, °C	$V_{RO_2}^0 = 1,13,$ м³/м³		$V_{N_2}^0 = 8,27,$ м³/м³		$V_{H_2O}^0 = 2,31,$ м³/м³		$\Sigma (3+5+7)$	$C_{PH_2O} \cdot V_{H_2O}^0$	$V^0 = 10,47,$ м³/м³			$I_2 = I_1^0 + (\alpha - 1) J_B^0,$ кДж/м³	
	C_{PRO_2}	$C_{PRO_2} \cdot V_{RO_2}^0$	C_{PN_2}	$C_{PN_2} \cdot V_{N_2}^0$	C_{PH_2O}	$C_{PH_2O} \cdot V_{H_2O}^0$			C_{PB}	$C_{PB} \cdot V^0$	$I_1^0 = (11,091)$	$\alpha_{кп} = 1,111$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
100	1,702	1,923	1,297	10,725	1,506	3,480	16,127	1612,690	1,300	13,618	1361,841	1736,617	1763,854
200	1,789	2,021	1,301	10,756	1,524	3,519	16,296	3259,296	1,307	13,689	2737,715	3508,428	3563,182
300	1,864	2,106	1,308	10,815	1,544	3,566	16,487	4946,048	1,317	13,794	4138,304	5322,634	5405,400
400	1,931	2,182	1,317	10,894	1,567	3,619	16,695	6678,069	1,329	13,917	5566,749	7184,643	7295,978
500	1,990	2,249	1,329	10,988	1,591	3,675	16,911	8455,714	1,343	14,061	7030,697	9095,507	9236,121
600	2,043	2,308	1,341	11,092	1,616	3,733	17,133	10279,832	1,357	14,206	8523,548	11055,475	11225,946

700	2,090	2,362	1,35 5	11,203	1,643	3,79 4	17,358	12150,89 2	1,371	14,35 6	10048,969	13065,348	13266,327
800	2,133	2,410	1,36 8	11,313	1,669	3,85 6	17,579	14063,51 5	1,384	14,49 6	11596,801	15118,824	15350,760
900	2,171	2,453	1,38 1	11,418	1,697	3,92 0	17,790	16011,36 5	1,398	14,63 6	13172,699	17210,080	17473,534
1000	2,205	2,492	1,39 3	11,518	1,724	3,98 3	17,993	17993,23 4	1,410	14,76 3	14763,049	19336,671	19631,932
1100	2,237	2,527	1,40 5	11,615	1,751	4,04 6	18,188	20007,13 8	1,421	14,88 6	16374,135	21497,184	21824,667
1200	2,266	2,560	1,41 5	11,705	1,778	4,10 8	18,373	22047,61 8	1,433	15,00 4	18004,700	23686,046	24046,140
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1300	2,292	2,589	1,42 6	11,796	1,804	4,16 8	18,553	24118,37 7	1,443	15,11 4	19648,041	25906,349	26299,310
1400	2,315	2,616	1,43 6	11,875	1,829	4,22 6	18,717	26203,76 9	1,453	15,21 4	21300,178	28142,085	28568,089
1500	2,337	2,641	1,44 5	11,951	1,854	4,28 3	18,875	28312,47 6	1,462	15,31 1	22966,140	30402,395	30861,718
1600	2,357	2,664	1,45 4	12,024	1,878	4,33 7	19,025	30439,24 3	1,471	15,40 3	24644,668	32681,908	33174,801
1700	2,376	2,685	1,46	12,093	1,901	4,39	19,170	32588,19	1,487	15,56	26468,031	34996,782	35526,142

			2			1		1		9			
1800	2,393	2,704	1,470	12,155	1,923	4,442	19,301	34742,417	1,487	15,569	28024,974	37292,690	37853,190
1900	2,409	2,722	1,477	12,215	1,944	4,490	19,427	36911,553	1,494	15,645	29725,181	39616,544	40211,048
2000	2,424	2,739	1,484	12,270	1,964	4,538	19,547	39093,478	1,501	15,719	31438,373	41954,370	42583,137

Рис. 4.1 I-t диаграмма



$t, ^\circ\text{C}$

5 ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОТЛА

Тепловой баланс выражается равенством между введенной и израсходованной теплотой, отнесенной к единице израсходованного топлива, кДж/м³

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (5.1)$$

Где Q_p^p – располагаемая (введенная) теплота $\approx Q_n^p$; Q_1 – теплота, полезно использованная в котлоагрегате; Q_2 – потери теплоты с уходящими газами; Q_3 – потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива; Q_4 – потери теплоты от механического недожога; Q_5 – потери теплоты от охлаждения элементов котельного агрегата окружающей средой; Q_6 – потери теплоты с физической теплотой шлака.

Тепловой баланс процентах:

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100 \% \quad (5.2)$$

где q_1 – процентная доля полезно использованного действия котельного агрегата; q_2, q_3, q_4, q_5, q_6 – процентные доли потерь теплоты по указанным видам.

Для расчета принято:

Потери теплоты от химической неполноты сгорания $q_3 = 0,15\%$ [14].

Потери теплоты от механической неполноты сгорания $q_4 = 0\%$ [14].

Потери теплоты от охлаждения элементов котельного агрегата в окружающую среду $q_5 = 3,6\%$ [14].

Потеря теплоты с физической теплотой шлака $q_6 = 0$ [14]

$$Q_p^p = Q_n^p = 39807,1 \text{ кДж} / \text{м}^3.$$

Потери теплоты с уходящими газами, кДж/кг:

$$Q_2 = \frac{I_{yx} - \alpha_{yx} I_{xв}}{100} (100 - q_4) \quad (5.3)$$

$$Q_2 = \frac{2213 - 1,111 \cdot 407,48}{100} (100 - 0) = 1760,29 \text{ кДж} / \text{м}^3$$

где I_{yx} – энтальпия уходящих газов определяется по графику $J - t$ по температуре уходящих газов $t_{yx} = 125^\circ\text{C}$ и по линии, характеризующей последнюю

					Лист
					52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

поверхность нагрева, $I_{yx} = 2213 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$; α_{yx} – избыток воздуха в уходящих газах, численно равен избытку воздуха в продуктах сгорания в последнем газоходе, $\alpha_{yx} = 1,111$; $I_{xв}$ – энтальпия холодного воздуха, $\text{кДж}/\text{м}^3$.

Энтальпия холодного воздуха:

$$I_{xв} = V^0 c_{p_{xв}} t_{xв}, \text{ кДж} / \text{м}^3 \quad (5.4)$$

где V^0 – количество воздуха, необходимое для полного сгорания топлива, $\text{м}^3 / \text{м}^3$; $c_{p_{xв}}$ – изобарная теплоемкость холодного воздуха, при $t_{xв} = 30^\circ \text{C}$;

$$I_{xв} = 10,47 \cdot 1,297 \cdot 30 = 407,48 \text{ кДж} / \text{м}^3$$

Доля потерь теплоты с уходящими газами:

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p^p} \cdot 100 = \frac{1760,29}{39807,117} \cdot 100 = 4,42 \%$$

Процентная доля полезно использованной теплоты:

$$q_1 = 100 - \sum_{i=2}^6 q_i = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) = \\ = 100 - (4,42 + 0,15 + 0 + 3,6 + 0) = 91,83 \%$$

Потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива:

$$Q_3 = \frac{q_3 Q_p^p}{100} = \frac{0,15 \cdot 39807,1}{100} = 59,71 \text{ кДж} / \text{м}^3$$

Потери теплоты в окружающую среду

$$Q_5 = \frac{q_5 Q_p^p}{100} = \frac{3,6 \cdot 39807,1}{100} = 1433,06 \text{ кДж} / \text{м}^3,$$

Теплота, полезно использованная в котельном агрегате:

$$Q_1 = \frac{q_1 Q_p^p}{100} = \frac{91,83 \cdot 39807,1}{100} = 36554,06 \text{ кДж} / \text{м}^3,$$

Тепловой баланс на 1 м^3 газообразного топлива при условии установившегося режима работы котельной установки, в $\text{кДж}/\text{м}^3$:

$$Q_p^p = 36554,06 + 1760,29 + 59,71 + 0 + 1433,06 + 0 \approx \\ \approx 39807,1 \text{ кДж} / \text{м}^3$$

В процентах: $= 91,83 + 4,42 + 0,15 + 0 + 3,6 + 0 = 100 \%$

Коэффициент полезного действия котла:

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

$$\eta_{\kappa} = \frac{q_1}{100} \quad (5.5)$$

$$\eta_{\kappa} = \frac{91,83}{100} = 0,92.$$

6 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТОПКИ И РАДИАЦИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

Расчет топки сводится к определению расхода топлива на один котел, определению основных размеров топки котла, расчету теплообмена в топке.

						Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6.1 Расход топлива на один котел

Расход топлива на один котел можно определить из выражения:

$$B = \frac{N_K}{Q_p^p \cdot \eta_K}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.1)$$

где B – действительный расход топлива, кг/с; $N_K = 1600$ – мощность котла, кВт;

$$B = \frac{1600}{39807,1 \cdot 0,92} = 0,044 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расход воды через один котел можно определить из выражения:

$$G = \frac{N_K}{(I'' - I')}, \text{ кг/с} \quad (6.2)$$

где, G -расход через котел, кг/с; $I'' = 398$ - энтальпия воды на выходе из котла, кДж/кг; $I' = 293,03$ - энтальпия воды на входе в котел, кДж/кг.[15]

$$G = \frac{1600}{(398 - 293,3)} = 15,24 \text{ кг/с}$$

Учитывая, что потери топлива от механического недожога равны 0, принимаем $B_p = B = 0,044 \text{ м}^3/\text{с}$.

6.2 Геометрические размеры топки

Размеры топки характеризуются величиной активного топочного объема.

Необходимая величина активного топочного объема определяется по формуле:

$$V_m = \frac{Q_p^p \cdot B_p}{q_v}, \text{ м}^3 \quad (6.3)$$

$$V_m = \frac{39807,1 \cdot 0,044}{600} = 2,91 \text{ м}^3$$

q_v – видимое тепловое напряжение топочного объема, определяемое из таблиц [14]. $q_v = 620 \text{ кВт/м}^3$.

По паспорту котла КВ–ГМ–1,6 расчетный объем камеры топки $V_m = 2,83 \text{ м}^3$, поэтому принимаем паспортную величину топочного объёма.

Принимаем паспортную величину топочного объема $V_m = 2,94 \text{ м}^3$ ширину топки 0,92 м, глубину топки 2,5 м и высоту топки 1,28 м.

6.3 Расчет теплообмена в топке

Полезное тепловыделение в топке или теоретическое теплосодержание продуктов сгорания определяются по формуле:

$$I_{теор} = Q_p \frac{100 - q_3 - q_5 - q_6}{100} + Q_{хв}, \text{ кДж} / \text{м}^3 \quad (6.4)$$

$$I_{теор} = 39807,17 \cdot \frac{100 - 0,15 - 3,6 - 0}{100} + 444,57 = 38758,9 \text{ кДж} / \text{кг},$$

$Q_{хв}$ – количество теплоты, вносимое холодным воздухом:

$$Q_{хв} = \alpha_m \cdot V^0 \cdot c_{p_{хв}} \cdot t_{хв}, \text{ кДж} / \text{м}^3 \quad (6.5)$$

$c_{p_{хв}}$ – изобарная теплоемкость холодного воздуха, при $t_{хв} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$,
 $c_{p_{хв}} = 1,297 \text{ кДж} / (\text{м}^3 \text{ K})$;

$$Q_{хв} = 1,091 \cdot 10,47 \cdot 1,297 \cdot 30 = 444,57 \text{ кДж} / \text{м}^3$$

Зная $I_{теор}$, по диаграмме $I - t$ определяем теоретическую температуру в топке:

$$t_{теор} = 1863 \text{ } ^\circ\text{C},$$

Температуру газов на выходе из топки принимаем равной $t_1 = 1100 \text{ } ^\circ\text{C}$ [14]

Зная t_m'' , определяем по диаграмме $I-t$ энтальпию газов на выходе из топки:

$$I_m'' = 21497,2 \text{ кДж} / \text{м}^3$$

Определяем количество теплоты, передаваемое в топке от газов поверхностям нагрева радиацией Q_L :

$$Q_L = I_{теор} - I_m'' - Q_m^5, \text{ кДж} / \text{м}^3, \quad (6.6)$$

где Q_m^5 – потеря тепла от наружного охлаждения топки, $\text{кДж} / \text{м}^3$:

$$Q_L = 38758,9 - 21497,2 - 716,53 = 16545,2 \text{ кДж} / \text{кг},$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

$$Q_m^5 = 0,5 \cdot \frac{q_5 \cdot Q_p}{100}, \text{ кДж} / \text{м}^3 \quad (6.7)$$

$$Q_m^5 = 0,5 \cdot \frac{3,6 \cdot 39807,1}{100} = 716,53, \text{ кДж} / \text{м}^3$$

Находим радиационную поверхность топки, воспринявшую количество теплоты Q_λ :

$$H_p = \frac{\varphi B_p Q_\lambda}{\sigma_0 M \varepsilon_m \vartheta_m'' T_{теор}^3} \sqrt[3]{\frac{1}{M^2} \left(\frac{T_{теор}}{\vartheta_m''} - 1 \right)^2}, \text{ м}^2 \quad (6.8)$$

$$H_p = \frac{0,964 \cdot 0,044 \cdot 16545,2 \cdot 10^3}{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,46 \cdot 0,33 \cdot 1373 \cdot 2136^3} \sqrt[3]{\frac{1}{0,46^2} \left(\frac{2136}{1373} - 1 \right)^2} = 6,9 \text{ м}^2,$$

где $T_{теор}$ – теоретическая температура горения в топке,

$$T_{теор} = 1863 + 273 = 2136 \text{ К},$$

ϑ_m'' – абсолютная температура газов на выходе из топки,

$$\vartheta_m'' = 1100 + 273 = 1373 \text{ К},$$

$\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}, \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела,

[14]; M – коэффициент, учитывающий относительное положение ядра факела

по высоте топочной камеры, $M = 0,43$ [14]. ε_m – степень черноты топки, $\varepsilon_m = 0,427$

[14]; φ – коэффициент сохранения теплоты;

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{100} \quad (6.9)$$

$$\varphi = 1 - \frac{3,6}{100} = 0,964.$$

6.4 Расчет радиационной поверхности нагрева (экрана)

Принимаю к расчету трубы для подового и потолочного $d = 0,057 \text{ м}$, с шагом установки $s = 0,075 \text{ м}$, длина труб $2,4 \text{ м}$; Трубы боковых экранов принимаю $d = 0,057 \text{ м}$, с шагом установки $s = 0,075 \text{ м}$, длина труб $2,4 \text{ м}$, $b = 2,4$ – глубина топки (по паспорту), $h = 1,28$ – высота топки (по паспорту), м .

Количество труб установленных на боковой стенке стены:

$$n_6 = \frac{h - d}{s} = \frac{1,28 - 0,057}{0,075} = 16 \text{ шт.},$$

Количество труб установленных на подовом (потолочном) экране:

						Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$n_n = \frac{a-d-z}{s} = \frac{(0,92-0,057-0,18)}{0,075} = 9 \text{ шт.},$$

где z – расстояние, занимаемое боковыми трубами экрана с учетом отступа от них.

Площадь радиационной поверхности котла:

$$\begin{aligned} H_{расч} &= \pi \cdot (d \cdot 2 \cdot n_6 \cdot b + d \cdot 2 \cdot n_n \cdot b) \cdot \zeta = \\ &= 0,5 \cdot 3,14 \cdot (0,057 \cdot 2 \cdot 16 \cdot 2,4 + 0,057 \cdot 2 \cdot 9 \cdot 2,4) \cdot 0,65 = 6,98 \text{ м}^2, \end{aligned}$$

$\zeta = 0,4 \dots 0,7$ – коэффициент загрязнения поверхностей нагрева (принимаем $\zeta = 0,65$ [14]), $\xi = 0,4 \dots 0,7$ – коэффициент учитывающий освещенность экран-ных труб, (принимаем $\xi = 0,5$ [14]),

Проверяем отклонение величины найденной эффективной радиацион-ной поверхности H_p от расчётной $H_{расч}$:

$$\Delta H_p = \frac{H_{расч} - H_p}{H_p} = \frac{6,98 - 6,9}{6,9} = 1,21 \text{ \%}.$$

Погрешность составила менее 2% следовательно принимаем к установ-ке вышеуказанные экранные трубы.

7 РАСЧЕТ КОНВЕКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕ-ВА КОТЛА

Целью расчета конвективных поверхностей нагрева котельного агрега-та является определение температуры продуктов сгорания топлива за каж-дым элементом агрегата графоаналитическим методом и установление ве-личины площади поверхностей нагрева.

						Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Конвективная часть состоит из U-образного конвективного пучка, подового и потолочного экрана.

Температуру нагрева воды в конвективной части найдем из уравнения:

$$t_x = \frac{(I_T'' - I_{yx}) \cdot (t_2 - t_1)}{(I_{теор} - I_{yx})}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7.1)$$

где, t_2 -температура воды на выходе из котла; t_1 - температура воды на входе в котел; t_x - температура нагрева воды в конвективной части.

$$t_x = \frac{21497,2 - 2213}{(38758,9 - 2213)} \cdot (95 - 70) = 13,19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

По чертежу определим конструктивные характеристики рассчитываемого конвективного газохода. Высота газохода $h = 1,28$ м; глубина газохода $b = 1,83$ м; ширина газохода $a = 0,92$ м.

Для поверхности нагрева состоящей из U-образных труб с шагом $S_1 = 0,04$, м, $S_2 = 0,084$, м; наружный диаметр труб $d_1 = 0,032$, м; длина труб расположенных в газоходе с учетом зазора между трубой и боковой стенкой $l_1 = 0,886$, м.

Для труб расположенных в потолочном и подовом экранах конвективного газохода: поперечный шаг $S_3 = 0,08$, м; наружный диаметр труб $d_2 = 0,05$, м; длина труб расположенных в газоходе $l_2 = 1,73$, м.

Определим количество труб, которое можно установить по высоте газохода:

$$n_1 = \frac{h - d_1 - z}{S_1} = \frac{1,28 - 0,032 - 0,14}{0,04} = 27 \text{ шт.}$$

где z – расстояние, занимаемое трубами подового и потолочного экрана с учетом отступа от них, м.

К установке примем 32 штук.

Определим возможное количество рядов труб, которое можно установить по глубине газохода:

$$n_2 = \frac{b - 2 \cdot d_1}{S_2} = \frac{1,73 - 2 \cdot 0,032}{0,084} = 20 \text{ рядов.}$$

К установке примем 20 рядов.

						Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определим количество труб установленных в подовом (потолочном) экране конвективного газохода:

$$n_{\text{под}} = \frac{a - d_2}{S_3} = \frac{0,92 - 0,05}{0,08} = 10 \text{ шт.}$$

Определим скорость газов в конвективном газоходе:

$$\omega = \frac{B \cdot V_z \cdot (t_z + 273)}{F \cdot 273} \quad (7.2)$$

$$\omega = \frac{0,044 \cdot 12,89 \cdot (562,5 + 273)}{0,29 \cdot 273} = 6,29, \text{ м/с}$$

где $t_z = \frac{1000 + 125}{2} = 562,5, \text{ } ^\circ\text{C}$ - средняя температура газового потока в поверхности нагрева; F - живое сечение поверхности нагрева предназначенное для прохода газов, м^2 .

$$F = a \cdot h - (n_1 \cdot d_1 \cdot l_1 + 2 \cdot d_1 \cdot h + 2 \cdot d_2^2 \cdot n_2 \cdot \frac{\pi}{4}) =$$

$$= 0,92 \cdot 1,28 - (27 \cdot 0,032 \cdot 0,886 + 2 \cdot 0,032 \cdot 1,28 + 2 \cdot 0,05^2 \cdot 10 \cdot \frac{3,14}{5}) =$$

$$= 0,29 \text{ м}^2.$$

Определяем теплоту, отданную продуктами сгорания:

$$Q_6 = \varphi \cdot (I' - I'' + \Delta \alpha_{\text{конв}} \cdot I_{\text{прис}}^0), \text{ кДж/м}^3 \quad (7.3)$$

где φ - коэффициент сохранения теплоты; $I' = I'_T$ - энтальпия продуктов сгорания перед поверхностью нагрева, кДж/м^3 ; $I'' = I_{yx}$ - энтальпия продуктов сгорания после поверхности нагрева, кДж/м^3 ; $I_{\text{прис}}^0$ - энтальпия присосанного в конвективную поверхность нагрева воздуха, при температуре $t_6 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$I_{\text{прис}}^0 = V_0 \cdot t_6 \cdot c_{p_{\text{воз}}} = 10,47 \cdot 30 \cdot 1,297 = 407,38, \text{ кДж/м}^3$$

$$Q_6 = 0,964 \cdot (21497,2 - 2213 + 0,02 \cdot 407,38) = 18597,8, \text{ кДж/м}^3$$

Примем коэффициент теплопередачи для конвективного пучка из U-образных труб $K_1 = 60,91, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$; для потолочного и подового экранов $K_2 = 46,09, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$; [14].

Определим количество теплоты, воспринятое поверхностью нагрева, на

1 м^3 сжигаемого газа:

						Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_m = \frac{K \cdot H \cdot \Delta t}{B \cdot 10^3}, \text{ кДж} / \text{м}^3. \quad (7.4)$$

где Δt – температурный напор, °С; H – площадь поверхности нагрева, расположенная в рассчитываемом газоходе, м².

$$\Delta t = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2,3 \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{916,3 - 30}{2,3 \lg \frac{916,3}{30}} = 259,5, \text{ °С}.$$

где Δt_6 и Δt_m – большая и меньшая разность температур продуктов сгорания и нагреваемой жидкости, °С.

$$H = \pi d l n, \text{ м}^2 \quad (7.5)$$

где n – общее число труб расположенное в газоходе.

Для U-образных труб:

$$H_1 = 3,14 \cdot 0,032 \cdot 0,866 \cdot 27 \cdot 20 = 48,07, \text{ м}^2.$$

Для подового и потолочного экранов:

$$H_2 = 2 \cdot (3,14 \cdot 0,05 \cdot 1,73 \cdot 10) = 5,43, \text{ м}^2$$

$$Q_m = \frac{60,91 \cdot 48,07 \cdot 259,5}{0,31 \cdot 10^3} + \frac{45,75 \cdot 5,43 \cdot 259,5}{0,31 \cdot 10^3} = 18871,5, \text{ кДж} / \text{м}^3.$$

Проверяем отклонение количество теплоты, воспринятое поверхностью нагрева, Q_m от теплоты, отданной продуктами сгорания Q_6 :

$$\Delta Q = \frac{Q_m - Q_6}{Q_6} \cdot 100 = \frac{18871,5 - 18597,8}{18597,8} \cdot 100 = 1,47 \text{ \%}.$$

Погрешность составила менее 2% следовательно площади набранной поверхности нагрева будет достаточно для восприятия необходимого количество тепловой энергии.

8 РАСЧЕТ ТЯГОДУТЬЕВОЙ УСТАНОВКИ

8.1 Высота трубы для обеспечения искусственной тяги

При расчете тяговой установки определены:

- требуемая высота дымовой трубы для организации естественной тяги при удалении дымовых газов из котлоагрегата;
- требуемые параметры дымососов для организации искусственной тяги.

Определяем плотность газов при нормальных условиях:

Для конвективного участка:

$$\rho_z^0 = \frac{1 - 0,01 A^p + 1,293 \alpha V^0}{V_r}, \text{ кг / м}^3 \quad (8.1)$$

$$\rho_z^0 = \frac{1 - 0,01 \cdot 0 + 1,293 \cdot 1,111 \cdot 10,47}{12,89} = 1,22 \text{ кг / м}^3$$

						Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Плотность воздуха окружающей среды определяем по выражению:

$$\rho_a = \rho_a^0 \frac{273}{273 + t_a}, \quad (8.2)$$

где ρ_a^0 – плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м³; $t_a = +5$ °C – температура окружающего воздуха, [15].

$$\rho_a = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + 5} = 1,269 \text{ кг/м}^3$$

Плотность уходящих газов определяется аналогично, (кг/м³):

$$\rho_z = \rho_z^0 \frac{273}{273 + t_{yx}}, \text{ кг/м}^3 \quad (8.3)$$

$$\rho_z = \rho_z^0 \frac{273}{273 + t_a} = 1,22 \cdot \frac{273}{273 + 125} = 0,84 \text{ кг/м}^3,$$

Плотность газов в зоне конвективной части, (кг/м³):

$$\rho_{zk} = \rho_z^0 \frac{273}{273 + t_{zk}}, \text{ кг/м}^3 \quad (8.4)$$

где, t_{zk} - температура газов в конвективной части

$$t_{zk} = \frac{t_t - t_{yx}}{2}, \text{ °C} \quad (8.5)$$

$$t_{zk} = \frac{1100 - 125}{2} = 612,5 \text{ °C}$$

$$\rho_{zk} = 1,22 \cdot \frac{273}{273 + 612,5} = 0,38 \text{ кг/м}^3$$

Аэродинамическое сопротивление при движении дымовых газов в межтрубном пространстве поверхности нагрева:

$$h = k_0 n \frac{\rho_{zk} \omega^2}{2}, \quad (8.6)$$

где, k_0 – коэффициент сопротивления одного ряда труб (для гладкотрубных труб $k_0 = 0,1$ – при установке их в коридорном порядке, [15]; n – число рядов труб по глубине пучка, шт; ω – скорость движения газового потока, м/с;

$$h = 0,1 \cdot 20 \cdot \frac{0,38 \cdot 6,29^2}{2} = 14,93 \text{ Па},$$

Суммарное сопротивление газового тракта:

					Лист
					64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

$$\Sigma h = k h, \text{ Па} \quad (8.7)$$

где k – коэффициент, учитывающий аэродинамические сопротивления газового тракта, $k = 1,5$ [15].

$$\Sigma h = 1,5 \cdot 14,93 = 22,39 \text{ Па},$$

Необходимая высота трубы определяется по формуле, м:

$$H_T = \beta \frac{\Sigma h}{g(\rho_g - \rho_z)}, \text{ м} \quad (8.8)$$

где $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с^2 ; ρ_g – плотность воздуха окружающей среды, кг/м^3 ; ρ_z – плотность уходящих газов, кг/м^3 ; β – коэффициент запаса по тяге, $\beta = 1,2$, [15]; Σh – суммарное сопротивление газового тракта, Па.

$$H_T = 1,2 \cdot \frac{22,39}{9,81 \cdot (1,269 - 0,84)} = 6,37 \text{ м}$$

Но из расчета экологии принимаем трубу 10,4 м.

8.2 Расчет и подбор дымососа

Расчётная производительность дымососа определяется по формуле:

$$Q_d = \beta_1 B_p [V_r + (\alpha_d - 1) V^0] \frac{t_z + 273}{273}, \text{ м}^3 / \text{с} \quad (8.9)$$

$$Q_d = 1,1 \cdot 0,044 \cdot [12,89 + (1,111 - 1) \cdot 10,47] \cdot \frac{125 + 273}{273} = 0,98 \text{ м}^3 / \text{с},$$

где β_1 – коэффициент запаса по производительности, $\beta_1 = 1,1$, [15]; α_d – коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания перед дымососом.

Дымосос выбирают так, чтобы развиваемое им давление с учётом тяги, создаваемое трубой, обеспечивало с некоторым запасом необходимый перепад полного давления (Па) по газовому тракту:

$$H_d = \beta_2 (h_{em} + \Sigma h) \quad (8.10)$$

$$H_d = 1,1 \cdot (25 + 22,39) = 52,13 \text{ Па},$$

						Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где $\beta_2=1,1$ – коэффициент запаса по давлению, [15]; $h_{\text{вм}}=20\ldots30$ Па – разрежение в верхней части топки, [15].

Мощность привода дымососа:

$$N_{\text{эл.дв.}} = \beta_3 \frac{Q_{\text{д}} H_{\text{д}}}{\eta_{\text{э}}}, \text{ Вт} \quad (8.11)$$

$$N_{\text{эл.дв.}} = 1,1 \cdot \frac{0,98 \cdot 52,13}{1000 \cdot 0,7} = 0,080 \text{ кВт},$$

где $\beta_3=1,1$ – коэффициент запаса по мощности электродвигателя, [15];

$\eta_{\text{э}}=0,7$ – эксплуатационный КПД двигателя дымососа, [15].

Выбор типа дымососа:

По требуемой производительности и давлению принимаем дымосос

– Марка дымососа: Д – 3,5М ($Q=4300$ м³/ч; $H=450$ Па; $\eta=63\%$; производитель «БиКЗ»).

– Электродвигатель:

- тип двигателя: АИР100S4;
- мощность: 3 кВт;
- частота вращения: 1500об/мин

К установке принимаю 2Д – 3,5М(1 резервный)

8.3 Расчет и подбор дутьевого вентилятора

Расчётная производительность дутьевого вентилятора определяется тем количеством воздуха, которое необходимо подать в топку для полного сгорания потребляемого количества топлива:

$$Q_{\text{в}} = \beta_1 B_{\text{п}} (\alpha_{\text{м}} - \Delta \alpha_{\text{м}} + \Delta \alpha_{\text{вн}}) V^0 \frac{273 + t_{\text{в}}}{273}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (8.12)$$

$$Q_{\text{в}} = 1,05 \cdot 0,044 \cdot (1,091 - 0,02 + 0) \cdot 10,47 \cdot \frac{273 + 30}{273} = 0,57 \text{ м}^3/\text{с}$$

где β_1 – коэффициент запаса по производительности, $\beta_1=1,05$, [15]; $\alpha_{\text{м}}$ – коэффициент избытка воздуха в конце топки; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха, поступающего в вентилятор, °С.

Мощность привода дутьевого вентилятора:

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

$$N_{\text{эл.дв.}} = \beta_3 \frac{Q_B \cdot H_B}{\eta_3}, \text{ Вт} \quad (8.13)$$

$$N_{\text{эл.дв.}} = 1,1 \cdot \frac{0,57 \cdot 1000}{0,7} = 899 \text{ Вт},$$

где $H_B = 1000 \dots 1500 \text{ Па}$ – требуемое полное давление вентилятора (для котлов без воздухоподогревателем $H_B = 1000 \text{ Па}$), [15].

Выбор типа вентилятора:

По требуемой производительности выбираем дутьевой вентилятор и электродвигатель:

– Марка дутьевого вентилятора: ВД – 2,8-3000 ($Q = 2600 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H = 280 \text{ Па}$; $\eta = 65\%$; производитель «БиКЗ»).

– Электродвигатель:

- тип двигателя: АИР112М2
- мощность: 3 кВт;
- частота вращения: 3000 об/мин

К установке принимаю 2 ВД – 2,8-3000 (1 резервный)

9 СХЕМА ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ

В коллектор сетевого насоса (1) из бака-аккумулятора (3) поступает подпиточная вода (насос, компенсирующая расход воды у потребителей). Исходная вода, подаваемая насосом (4), проходит через подогреватель (12), фильтры химводоочистки (11) и после умягчения через второй подогреватель (10), где нагревается до 70 °С. Далее вода поступает в колонку вакуумного деаэратора (9). Вакуум в деаэраторе поддерживается за счет отсасывания из колонки деаэратора паровоздушной смеси с помощью водоструйного эжектора (7). Рабочей жидкостью эжектора служит вода, подаваемая насосом (5) из бака эжекторной установки (6). Пароводяная смесь, удаляемая из деаэраторной головки, проходит через теплообменник – охладитель выпара (8). В этом теплообменнике происходит конденсация паров воды, и конденсат стекает обратно в колонку деаэратора. Деаэрированная вода самотеком поступает к подпиточному насосу (2), который подает ее во всасывающий коллектор сетевых насосов (1) или в бак подпиточной воды (3). Схема движения воды представлена на 5 листе А1 графической части.

						Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

10 ТОПЛИВНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Схемы газорегуляторного пункта или установки среднего давления и подачи газа к котлоагрегатам приведена на рис. 2.4, а, б. Газ, поступающий из сети, последовательно проходит фильтр, в котором он очищается от механических примесей (пыли и окалины), предохранительный запорный клапан, служащий для прекращения пропуски газа, если давление за регулятором оказывается выше или ниже заданного (при неисправности регулятора).

После регулятора дросселированный до заданного давления газ направляется в общую магистраль (коллектор) 18 для подачи к котлоагрегатам. При ремонте основного оборудования ГРП Для подачи газа используют обводной газопровод, снабженный счетчиком и предохранительным клапаном, служащим для сброса избытка давления в атмосферу через линию.

На газопроводах у котлов перед каждой горелкой устанавливают две задвижки — рабочую (регулирующую) и контрольную. Регулирующая задвижка находится непосредственно перед горелкой и служит для пропуска газа в горелку, регулирования его подачи и отключения. Контрольную задвижку устанавливают по ходу газа раньше регулирующей и перед началом работы полностью открывают. В нерабочее время обе задвижки полностью закрыты.

Для отвода в атмосферу газа, просочившегося через неплотности контрольной задвижки служит газопровод безопасности. Этот газопровод предотвращает поступление газа в топку через неплотности регулирующей задвижки, когда котлоагрегат находится в нерабочем состоянии.

Кроме газопровода безопасности на участке между контрольной и регулирующей задвижками, ближе к последней, подключен отвод с кранами для присоединения трубопровода продувочной свечи и гибкого шланга запальника. Свеча используется для продувки газопровода перед пуском горелки, а запальник для зажигания газа в горелках. Трубопроводы продувочных свечей размещают и в других местах газопровода для его продувки

						Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

перед пуском котельных агрегатов.

Для контроля за давлением на вводе газопровода за регулятором давления и перед каждой горелкой установлены манометры, снабженные отключающими кранами.

В случае отключения подачи газа на котельной предусмотрен склад аварийного (дизельного) топлива. Склад располагается в пристройке к котельной. Топливо доставляется автомобильным транспортом

При прекращении подачи в ручную открывают механические клапаны необходимые для работы системы. Из емкости 19 маловязкое жидкое топливо (дизельное), по дополнительному топливопроводу поступает в фильтр. Затем через электромагнитный клапан 22, топливным насосом 20 под давлением поступает в горелочное устройство. Распыленное топливо в мелкодисперсном виде поступает в топочный объем под действием первичного и вторичного воздуха. Схема топливного хозяйства представлена на 5 листе А1 графической части.

						Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		