

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»



А.П. Лумми, В.А. Мунц

РАСЧЕТ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА

Учебное электронное текстовое издание
Подготовлено кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»
Научный редактор: проф., д-р техн. наук Н.Ф. Филипповский

Методические указания к выполнению курсовых проектов и работ по дисциплинам «Котельные установки и парогенераторы» и «Теплогенерирующие установки» подготовлены в соответствии с учебными планами специальностей 140104 «Промышленная теплоэнергетика», 140106 «Энергообеспечение предприятий» и 270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Подробно излагаются методики расчетов: объемов и энтальпий продуктов сгорания и воздуха; теплового баланса, расхода топлива; поверочных расчетов топочной камеры, фестона и конструкторского расчета конвективного пучка для котлов мощностью 1–100 МВт. Составлены на основании нормативных данных, формул и графиков по книге «Тепловой расчет котлов. Нормативный метод» (1998 г.). Могут быть использованы студентами при дипломном проектировании.

© ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2009

Екатеринбург
2009

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Исходные данные и содержание курсовой работы.....	3
2. Описание конструкции котла и топочного устройства.....	4
3. Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания.....	4
4. Расчет энтальпий воздуха и продуктов сгорания	9
5. Тепловой баланс котла.....	11
6. Расчет топочной камеры.....	13
6.1. Определение геометрических размеров топки	14
6.2. Тепловой поверочный расчет топки [1, 9]	14
7. Расчет фестона	20
8. Расчет конвективных пучков	25
9. Составление поверочного теплового баланса. Сводная таблица расчета котла.....	29
Контрольные вопросы.....	30
Библиографический список.....	31
Приложение	32

ВВЕДЕНИЕ

В работе содержатся рекомендации по расчету водогрейного (стального) водотрубного котла, предназначенного для нагрева сетевой воды при сжигании газа или жидкого топлива. Подробно излагаются расчеты: объемов и энтальпий продуктов сгорания и воздуха; теплового баланса, коэффициента полезного действия, расхода топлива; расчетов топочной камеры, фестона и конвективного пучка [1, 2, 3].

По представленной методике можно рассчитать водогрейные котлы КВГМ, ПТВМ, ТВГМ, ТВГ, ВВД и др., а также переводимые в водогрейный режим паровые котлы ДКВР, КЕ, ДЕ, Е 1/9 и др.

В приложении представлены таблицы, необходимые для расчета энтальпий воздуха, продуктов сгорания, теплоемкостей газов; рисунки значений коэффициентов теплоотдачи излучением и конвекцией при омывании конвективных пучков, расположенных в шахматном порядке, продуктами сгорания и коэффициента поглощения лучей газами.

Пособие может быть использовано при дипломном проектировании.

1. Исходные данные и содержание курсовой работы

Исходные данные

- 1) марка котла, геометрические размеры;
- 2) тип топки: камерная;
- 3) вид и сорт топлива: жидкое или газообразное (расчетные формулы и характеристики топлива принимать по нормам теплового расчета [1, 2, 3]);
- 4) Q_k – теплопроизводительность котла, МВт;
- 5) t_1 и t_2 – соответственно температура прямой и обратной воды, °С;
- 6) ϑ_{yx} – температура уходящих дымовых газов на выходе из котла, °С;
- 7) t_{xb} – температура «холодного» или подсосываемого воздуха, °С;
- 8) P_b – давление воды на выходе из котла, МПа.

Содержание курсовой работы

1. Объем пояснительной записки: см. оглавление. В записке приводятся описания и ксерокопии горелки и котла.

2. Графическая часть: 1 лист формата А1, на котором представляются три проекции котла. В записке приводятся описания и ксерокопии котла и горелки.

2. Описание конструкции котла и топочного устройства

Описания котлов и топочных устройств (горелок) приводятся в [4–7]. К расчету предлагаются котлы типов ТВГМ-34,8 (30), ПТВМ-46,5/40,7 (30М), и КВГМ-58 (50), характеристики которых даны в табл. 2.1 (котлы установлены в котельной ЭПК УГТУ–УПИ). В скобках указана теплопроизводительность котлов в Гкал/ч. Типы котлов расшифровываются так: ТВГМ – теплофикационный (Т) водогрейный (В) газомазутный (ГМ) теплопроизводительностью 34,8 МВт; ПТВМ – пиковый теплофикационный водогрейный мазутный (М) модернизированный теплопроизводительностью 46,5/40,7 МВт; КВГМ – котел водогрейный газо-мазутный 58 МВт.

3. Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания

Расчеты объемов воздуха и продуктов сгорания производятся для определения средней скорости газов и далее для определения величины конвективного коэффициента теплоотдачи и т. д. по коэффициенту расхода воздуха и составу топлива.

Величины $\alpha_{\text{кп}}$, $V_{\text{H}_2\text{O}}$, $V_{\text{Г}}$, $r_{\text{H}_2\text{O}}$, r_{RO_2} и $r_{\text{П}}$ (табл. 3.1) считаются в зависимости от данных по топливу, приведенных в [1, 2, 3].

Таблица 2.1

Основные характеристики водогрейных котлов ТВГМ, ПТВМ, КВГМ

Наименование	ТВГМ – 30	ПТВМ – 30М	КВГМ – 50
Номинальная теплопроизводительность, МВт (Гкал/ч)	34,8 (30)	46,5/40,7 (40/35)	58 (50)
Температура воды, °С: на входе в котел: в основном режиме в пиковом режиме на выходе из котла: в основном режиме в пиковом режиме	70 100–110 150 150	70 – 150 150	70 110 150 150
Давление воды на входе, МПа: расчетное минимальное	2,0 0,98	2,1 0,9	2,45 0,98
Расход воды, т.ч: в основном режиме в пиковом режиме	370 750	500/440 –	618 ≈1200
Расход топлива, кг/с: природного газа мазута	1,16 1,03	1,44 1,21	1,74 1,60
Расход воздуха, м ³ /ч:	51100	63720	Д–
Сопروتивление котла: гидравлическое, МПа газовое, Па	0,14 600 (Г), 650(М)	0,2/0,1 600 (Г), 650(М)	0,15/0,25 250–300
Температура уходящих газов, °С при работе: на природном газе на мазуте	190 237	162 250	180 190
Коэффициент полезного действия, %, при работе: на природном газе на мазуте	89–90 88,1	91 88	92,5 91,1
Объем топочной камеры, м ³	81,5	81,5	251
Размеры топочной камеры в плане, м	4,16×2,24	4,16×2,24	Габар. котла 7×6,44×17,5
Количество газомазутных горелок, шт.	6	6	2×РГМГ-20
Поверхность нагрева, м ² , радиационная конвективная	фестон-29 120 639	128,6 693	Σ 1473
Диаметр и толщина стенки, мм труб экранов змеевиков конвективной части	60×3 28×3	60×3 28×3	60×3 28×3
Шаги труб, мм экранов конвективной части	64 64 и 33	64 64 и 40	64 64 и 33
Давление перед горелкой, МПа для природного газа для мазута	0,12 до 0,21	0,12 до 0,21	0,4 0,21

Коэффициент расхода воздуха за поверхностью нагрева находится по формуле:

$$\alpha_i = \alpha_T + \sum \Delta\alpha_i, \quad (3.1)$$

где α_T и $\Delta\alpha_i$ – коэффициенты расхода воздуха в топке и подсасываемого (см. табл. 3.1) в соответствующей поверхности нагрева теплогенератора, величины безразмерные (δ/p), принимаются по табл. 3.2 и 3.3 (или задаются преподавателем) в зависимости от топлива, типа котла.

$$\alpha_{\text{кп}} = \alpha_{\text{ф}} + \Delta\alpha_{\text{кп}}; \text{ при } \Delta\alpha_{\text{ф}} = 0; \alpha_{\text{ф}} = \alpha_T; \quad (3.2)$$

где $\alpha_{\text{кп}}$ и $\alpha_{\text{ф}}$ – коэффициенты расхода воздуха за конвективным пучком и за фестом, (δ/p); $\Delta\alpha_{\text{кп}}$ – присос воздуха в конвективном пучке, (δ/p).

Средние значения коэффициента расхода воздуха $\bar{\alpha}_i$ по поверхностям нагрева котла определяются по формулам:

$$\bar{\alpha}_T = \alpha_T; \quad \bar{\alpha}_{\text{кп}} = \frac{\alpha_T + \alpha_{\text{кп}}}{2}, \quad (3.3)$$

По формуле (3.2) считается первая строка табл. 3.1. и энтальпия продуктов сгорания в табл. 4.1. По формуле (3.3) считается вторая строка и все остальные величины табл. 3.1.

Приводятся расчетные формулы объемов газов для топлива и его состава, заданных по нормативному методу. В противном случае используются формулы, приведенные в [1, 2].

Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания

№ п/п	Наименование величин	Обо- зна- чение	Раз- мер- ность	Поверхности нагрева	
				топка, фес- тон $\alpha_{\dot{o}} = \alpha_{\dot{o}}$	конвектив- ные пучки (КП) $\alpha_{\dot{e}i} =$
1	Коэффициент расхода воздуха (для таблицы It) по формуле 3.2.	α_i	δ/p	$\alpha_{\dot{o}} =$	$\alpha_{\dot{e}i} =$
2	Средний коэффициент расхода воз- духа по формуле 3.3.	$\bar{\alpha}_i$	δ/p	$\bar{\alpha}_{\dot{o}} = \alpha_{\dot{o}}$	$\bar{\alpha}_{\dot{e}i} =$
3	Действительный объем водяных паров по формуле 3.4.	V_{H_2O}	$\text{м}^3/\text{м}^3$ или $\text{м}^3/\text{кг}$	+	+
4	Действительный объем продуктов сгорания по формуле 3.5.	V_{Γ}	$\text{м}^3/\text{м}^3$ или $\text{м}^3/\text{кг}$	+	+
5	Объемная доля водяных паров в продуктах сгорания по формуле 3.6.	r_{H_2O}	δ/p	+	+
6	Объемная доля трехатомных газов в продуктах сгорания по формуле 3.7.	r_{RO_2}	δ/p	+	+
7	Суммарная доля водяных паров и трехатомных газов по формуле 3.8.	r_{Π}	δ/p	+	+

Примечание: «+» означает, что данная величина считается.

Действительный объем водяных паров, $\text{м}^3/\text{м}^3$ или $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^o + 0,0161(\bar{\alpha}_i - 1) \cdot V^o, \quad (3.4)$$

Действительный объем дымовых газов, $\text{м}^3/\text{м}^3$ или $\text{м}^3/\text{кг}$, в поверхности на-
грева:

$$V_{\Gamma} = V_{H_2O} + V_{N_2}^o + V_{RO_2}^o + (\bar{\alpha}_i - 1) \cdot V^o, \quad (3.5)$$

где: $V_{\text{H}_2\text{O}}^0$; $V_{\text{N}_2}^0$; $V_{\text{RO}_2}^0$ – теоретические объемы дымовых газов для конкретного топлива по [2.7], $\text{м}^3/\text{м}^3$ или $\text{м}^3/\text{кг}$; $V_{\text{H}_2\text{O}}$ – действительный объем водяных паров в газах, $\text{м}^3/\text{м}^3$ или $\text{м}^3/\text{кг}$; V^o – теоретическое количество воздуха [1, 2, 7], $\text{м}^3/\text{м}^3$ или $\text{м}^3/\text{кг}$; $\bar{\alpha}_i$ – средний коэффициент расхода воздуха в поверхности нагрева, принимается по табл. 3.1 расчета, (\bar{b}/p) ; V_{Γ} – действительный объем дымовых газов в поверхности нагрева, $\text{м}^3/\text{м}^3$ или $\text{м}^3/\text{кг}$.

Расчетные формулы объемных долей

Объемные доли водяных паров (величина безразмерная):

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\Gamma}} \quad (3.6)$$

Объемные доли трехатомных газов (величина безразмерная):

$$r_{\text{RO}_2} = \frac{V_{\text{RO}_2}}{V_{\Gamma}} \quad (3.7)$$

Суммарная доля:

$$r_{\Pi} = r_{\text{H}_2\text{O}} + r_{\text{RO}_2} \quad (3.8)$$

Таблица 3.2

Расчетные характеристики при сжигании газа и мазута

Топливо	Коэффициент расхода воздуха α_{Γ}	Допустимое теплонапряжение топки $q_{\text{V}}, \frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$	Потери от химического недожога $q_3, \%$
Мазут	1,03÷1,15	250÷350	0,6÷0,8
Природный газ	1,05÷1,15	250÷350	0,1÷0,5

Расчетные величины присосов холодного воздуха

Название участка	Наименование	Величина присоса
Топочные камеры пы- леугольных и газомазутных котлов	газоплотные экраны	0,02
	с металлической обшивкой труб экрана	0,05
	с обмуровкой и металлической обшивкой	0,07
	с обмуровкой и без обшивки	0,10
Газоходы конвективных поверхностей нагрева	газоплотный газоход (равномерно)	0,02
	фестон	0
	1 котельный пучок при $D \leq 50$ кг/с	0,05
	2 котельный пучок при $D \leq 50$ кг/с	0,1

4. Расчет энтальпий воздуха и продуктов сгорания

Теплосодержание продуктов сгорания обозначается $I_{\bar{A}}$, кДж/м³ или кДж/кг.

В общем случае:

$$I_{\Gamma} = I_{\Gamma}^o + I_{\text{B}}^o \cdot (\alpha_i - 1), \quad (4.1)$$

При отсутствии данных по составу топлива I_{Γ}^o и I_{B}^o считают по формулам 4.2 и 4.3.

$$I_{\Gamma}^o = \sum_{i=1}^1 V_i^o (c_{\mathcal{G}})_i = (V_{RO_2}^o \cdot c_{RO_2} + V_{H_2O}^o \cdot c_{H_2O} + V_{N_2}^o \cdot c_{N_2}) \cdot \mathcal{G}, \quad (4.2)$$

где I_{Γ} – теплосодержание газов, кДж/м³ или кДж/кг;

I_{Γ}^o и I_{B}^o – теоретические теплосодержания газов и воздуха, кДж/м³ или кДж/кг, принимаются из таблиц для топлива [1, 2, 7];

c_{RO_2} , c_{H_2O} , c_{N_2} – теплоемкости трехатомных газов, водяных паров, азота и

c_{B} – холодного воздуха при температуре $t_{x,в}$ и постоянном давлении равном атмосферному [табл. П1], кДж / (кгК).

Теплосодержание воздуха (при $t_{\text{O}\bar{\Lambda}} = \mathcal{G}_{\bar{\Lambda}}$), кДж/м³ или кДж/кг :

$$I_{\text{B}}^{\circ} = V^{\circ} c_{\text{B}} \mathcal{G}_{\text{B}}, \quad (4.3)$$

$I_{\text{X,B}}$ определяется по I_{B}° интерполяцией значений энтальпии между 100 и 200 °С по табл. 4.1; $I_{\text{Г}}^{\circ}$ и I_{B}° пересчитать в кДж/м³ или кДж/кг.

Энтальпии газов для топки считаются при температурах от 100 до 2200 °С, а энтальпии газов за конвективными пучками – при их температурах от 100 до 400 °С.

Таблица 4.1

Расчет энтальпий воздуха и продуктов сгорания

\mathcal{G} °С	$I_{\bar{\Lambda}}^i$, кДж/м ³ или кДж/кг	$I_{\bar{\Lambda}}^i$, кДж/м ³ или кДж/кг	$I_{\bar{\Lambda}} = I_{\bar{\Lambda}}^i + I_{\bar{\Lambda}}^i \cdot (\alpha_i - 1)$, кДж/м ³ или кДж/кг	
			топка, фестон при $\alpha_{\text{O}} =$	конвек. пучок при $\alpha_{\text{Ei}} =$
1	2	3	4	5
$t_{\text{XB}} =$	–	+	–	–
100	+	+	–	+
300	+	+	–	+
400	+	+	–	при $\mathcal{G}_{\text{O}\bar{\text{O}}} = I_{\text{O}\bar{\text{O}}} =$
500	+	+	–	
....	–
2200	+	+	+	–

Примечание. Таблица составляется при α_i , взятых из второй строки табл. 3.1; «+» означает, что величину рассчитывать нужно; «–» означает, что величину считать не нужно; в соответствии с таблицей рисуется график зависимостей $I_{\text{Г}}$ при трех значениях α_i от температуры (по графику определяется правильность расчета $I_{\text{Г}}$ и можно определить $t_{\text{теор}}$ по Q_{T} или температуру по $I_{\text{Г}}$).

5. Тепловой баланс котла

Составление теплового баланса котла заключается в установлении равенства между поступившим в котел количества тепла, называемым *располагаемым теплом* Q_D^r , и суммой полезно использованного тепла Q_1 и тепловых потерь Q_2 , Q_3 и Q_5 . На основании теплового баланса вычисляются коэффициент полезного действия и необходимый расход топлива.

Тепловой баланс составляется применительно к установившемуся тепловому состоянию котла на 1 кг жидкого или 1 м³ газообразного топлива при 0 °С и 760 мм рт. ст. Общее уравнение баланса в тепловых единицах имеет вид:

$$Q_D^r = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_5, \quad (5.1)$$

где Q_D^r – располагаемое тепло на рабочую массу, кДж/м³ или кДж/кг;

Q_1 – полезное тепло на нагрев сетевой воды, кДж/м³ или кДж/кг;

Q_2 – потери тепла с уходящими газами при t_{yx} , кДж/м³ или кДж/кг;

Q_3 – потери тепла с химическим недожогом топлива, кДж/м³ или кДж/кг;

Q_5 – потери тепла в окружающую среду (через обмуровку), кДж/м³ или кДж/кг.

Определение коэффициента полезного действия (КПД) котла, %

В удельных величинах, %, при

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_D^r} \cdot 100, \quad (5.2)$$

уравнение (3.5.1) после преобразования будет иметь вид:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_5), \quad (5.3)$$

где η – коэффициент полезного действия котла, %; q_2 , q_3 и q_5 – соответственно удельные потери тепла с уходящими газами, с химическим недожогом топлива и в окружающую среду (через обмуровку), %.

Потери тепла с уходящими газами q_2 , %, зависят от температуры газов, покидающих котел, их энтальпии, типа топлива и от расхода воздуха:

$$q_2 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{X.B})100}{Q_P^r}, \quad (5.4)$$

где: I_{yx} – энтальпия уходящих газов, кДж/м³ или кДж/кг; определяемая по табл. 4.1;

I_{XB} – энтальпия холодного воздуха при t_{XB} , кДж/м³ или кДж/кг, определяемая по табл. 4.1 (по колонке 3);

α_{yx} – коэффициент расхода воздуха уходящих газов (в данном случае за конвективным пучком), б/р;

Q_B^r – располагаемая теплота сгорания газа или жидкого топлива на рабочую массу, кДж/м³ или кДж/кг, определяемая по формулам 5.5 или 5.6.

Для газа принимают соответственно:

$$Q_P^r = Q_i^d, \quad (5.5)$$

где: Q_i^d – низшая теплота сгорания газообразного топлива на сухую массу, кДж/м³.

Для жидкого топлива Q_B^r , кДж /кг :

$$Q_P^r = Q_i^r + Q_{ТЛ} + Q_{ФД}, \quad (5.6)$$

где: $Q_{ТЛ} = c_{ТЛ} \cdot t_{ТЛ}$ – физическое тепло топлива (определяется при $t_{ТЛ}$ и $c_{ТЛ}$), кДж /кг; для жидкого топлива $t_{\text{ОЭ}} = 20 \div 130^\circ \text{Ñ}$, а для мазута $t_{ТЛ} = 90 \div 110^\circ \text{C}$; $Q_{ФД}$ – тепло форсуночного дутья (считается для форсунок с паровым распылом мазута). При сжигании мазута, теплоемкость $\tilde{N}_{\text{ОЭ}}^i$, кДж / (кгК) :

$$\tilde{N}_{\text{ОЭ}}^i = 1,74 + 0,0025 \cdot t_{\text{ОЭ}}^i, \quad (5.7)$$

Потери тепла с химическим недожогом q_3 , %: для газа $q_3 = 0,1 \div 0,5\%$; для мазута $q_3 = 0,6 \div 0,8\%$ (табл. 3.2).

Потери тепла от наружного охлаждения (через обмуровку) q_5 , %: принимаются при заданной тепловой производительности Q_k . При производительно-

сти котла отличной от номинальной более, чем на 25 %, величина q_5 , подсчитывается по формуле:

$$q_5 = q_5^H \cdot \frac{Q_{\text{НОМ}}}{Q_{\text{к}}}, \quad (5.8)$$

где q_5^H определяется в %, по рис. П. 2 [8] при $Q_{\text{НОМ}}$;

$Q_{\text{НОМ}}$ и $Q_{\text{к}}$ – номинальная и заданная теплопроизводительности котла, МВт.

После расчета всех удельных потерь тепла по обратному балансу определяется коэффициент полезного действия по формуле (5.3).

Расход топлива, кг/с или м³/с, на котел определяется по формуле:

$$B = \frac{G_{\text{с}} c (t_1 - t_2)}{Q_{\text{р}} \eta}, \quad (5.9)$$

где $G_{\text{с}}$ – расход сетевой воды через котел, кг/с;

c – теплоемкость воды, кДж/(кгК);

t_1 и t_2 – температуры прямой и обратной сетевой воды, °С.

6. Расчет топочной камеры

Поверочный расчет топки заключается в определении температуры газов на выходе $\theta_{\text{т}}''$ на основании характеристики топлива и основных геометрических размеров топки. Основными параметрами, определяющими безразмерную температуру газов на выходе из топки $\theta_{\text{т}}''$, являются критерии радиационного теплообмена Больцмана (B_0) и критерий поглощательной способности Бугера (Bu).

Безразмерная температура газов на выходе из топочной камеры определяется по формуле:

$$\theta_{\text{т}}'' = \frac{T_{\text{т}}''}{T_{\text{т}}} = \frac{B_0^{0,6}}{MBu + B_0^{0,6}}. \quad (6.1)$$

Теплота излучения факела в топке идет на нагрев воды в экранных трубах, поэтому температура газов на выходе из топки будет меньше температуры ядра факела.

6.1. Определение геометрических размеров топки

Для расчета топки необходимо знать объем (V_T), ширину (ϵ) и глубину (a), шаги и количество экранных труб, высоту и поверхность стен (F_{CT}).

Ориентировочно для малых котлов площадь стен, m^2 , считается по формуле

$$F_{CT} = 6\sqrt[3]{V_T^2}, \quad (6.2)$$

Объем топки (V_T) вместе с камерой дожигания (если она есть) принимается из табл. 2.1 характеристики котла.

Площади каждой из стен в отдельности, если они экранированы, считаются с учетом лазов, горелок, окон для прохода дымовых газов и т. д. Величина площади стен F_{CT} используется в расчете при определении среднего значения коэффициента тепловой эффективности Ψ .

6.2. Тепловой поверочный расчет топки [1, 9]

В поверочном расчете температура газов, $^{\circ}C$, на выходе в конце топки определяется по формуле:

$$g_T'' = \frac{T_a}{1 + M \cdot B\tilde{u}^{0,3} \left[\frac{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \Psi_{CP} \cdot F_{CT} \cdot T_a^3}{\varphi \cdot B \cdot (Vc)_{CP}} \right]^{0,6}} - 273, \quad (6.3)$$

где: T_a – абсолютная адиабатическая температура горения топлива, определяется из табл. 4.1 (для топки) по Q_T , определяемой по формуле (6.5), К;

M – параметр, учитывающий влияние на интенсивность теплообмена относительного уровня расположения горелок, степени забалластиванности топочных газов и других факторов;

$B\tilde{u}$ – критерий эффективности Бугера;

B – расчетный расход топлива, кг/с или m^3/c (по формуле (5.9));

F_{CT} – поверхность стен топки, m^2 (по чертежу или по формуле (6.1));

$(Vc)_{\text{CP}}$ – средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг (1 м³) топлива в интервале температур $(T_a - T_T'')$, кДж / (м³К) или кДж / (кгК), определяется по формуле (6.6);

Ψ_{CP} – среднее значение тепловой эффективности экранов (по формуле (6.16));

Φ – коэффициент сохранения тепла, б/р, определяется по формуле:

$$\Phi = 1 - \frac{q_5}{\eta + q_5}, \quad (6.4)$$

σ_0 – коэффициент излучения абсолютного черного тела ($\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-11}$, кВт/(м²К⁴); T_T'' – предварительно задаваемая температура газов на выходе из топки, К.

Адиабатическая температура горения \mathcal{G}_a , °С, (T_a , К) – определяется из табл. 4.1 (по топке) по полезному тепловыделению в топке Q_T , кДж/м³ или кДж/кг, при избытке воздуха α_T .

$$Q_T = Q_P \frac{100 - q_3}{100}, \quad (6.5)$$

где Q_P – располагаемое тепло топлива, кДж/м³ или кДж/кг, вычисляется по формуле (5.5) или (5.6).

Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг (1 м³) при предварительно принимаемой температуре \mathcal{G}_T'' , коэффициенте расхода воздуха на выходе из топки α_T , кДж/м³ или кДж/кг:

$$(Vc)_{\text{CP}} = \frac{Q_T - I_T''}{\mathcal{G}_a - \mathcal{G}_T''}, \quad (6.6)$$

где: I_T'' – энтальпия продуктов сгорания 1 кг (1 м³) топлива при предварительно принимаемой \mathcal{G}_T'' .

Величина \mathcal{G}_T'' в формуле (6.6) принимается в зависимости от теплопроизводительности теплогенератора. Так, при номинальной величине ее при камерном сжигании газа или мазута $\mathcal{G}_{T \text{ ПРИН}}'' = 1100 \div 1200$ °С.

В расчете при окончательном определении $g''_{T \text{ РАСЧ}}$ по формуле (6.3) должно быть:

$$|g''_{T \text{ ПРИН}} - g''_{T \text{ РАСЧ}}| \leq 100, \quad (6.7)$$

Для камерных топок при сжигании газа или мазута параметр M рассчитывается по формуле:

$$M = M_0(1 - 0,4x_T), \quad (6.8)$$

где: x_T – положение горелки относительно высоты топки, м, $x_T = h_T/H_T$, при расположении горелок в два ряда h_T считается средней; M_0 – коэффициент, \bar{b}/p ; M_0 принимается по нормативному методу:

- для газомазутных топок при настенном расположении горелок $M_0 = 0,40$;
- для газомазутных топок при подовом расположении горелок $M_0 = 0,36$.

Основной радиационной характеристикой продуктов сгорания служит критерий поглощательной способности (критерий Бугера), который считается по формуле:

$$Bu = kps_T, \quad (6.9)$$

где: k – коэффициент поглощения топочной среды, $1/(\text{мМПа})$, рассчитывается по температуре и составу газов на выходе из топки. При его определении учитывается излучение трехатомных газов (RO_2 , H_2O) и взвешенных в их потоке частиц сажи;

p – давление в топке, МПа,

$p = 0,1$ МПа;

s_T – эффективная толщина излучающего слоя топки, м, определяется по формуле:

$$s_T = 3,6 \frac{V_T}{F_{CT}}, \quad (6.10)$$

Эффективное значение критерия Бугера $B\tilde{u}$ определяется по формуле:

$$B\tilde{u} = 1,6 \ln \left(\frac{1,4Bu^2 + Bu + 2}{1,4Bu^2 - Bu + 2} \right), \quad (6.11)$$

По этой формуле построен график $B\tilde{u}^{0,3}$ (рис. 6.1).

При сжигании мазута или газа коэффициент поглощения топочной среды $1/(\text{мМПа})$, рассчитывается с учетом относительного заполнения топочной камеры святающимся пламенем (частицами сажи), характеризуемым коэффициентом m .

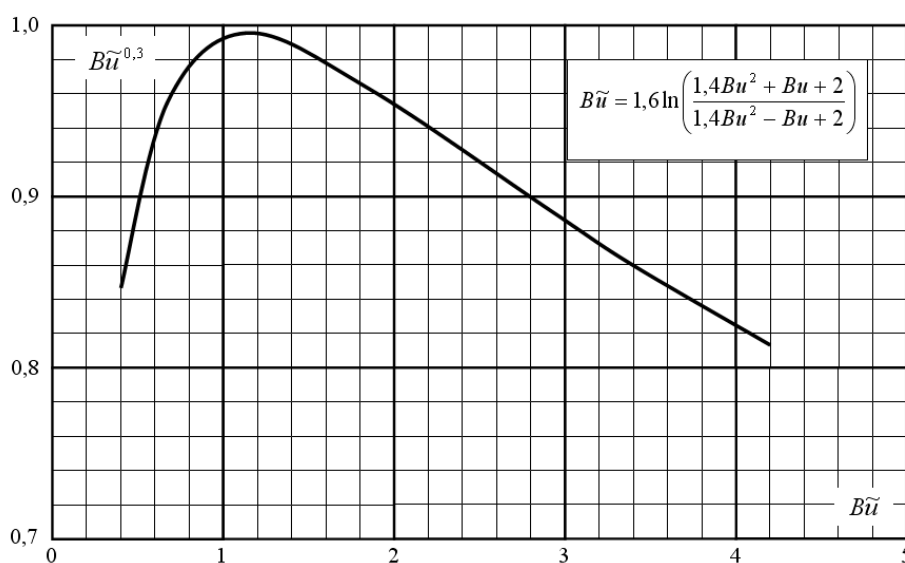


Рис. 6.1. Определение эффективного значения критерия Бугера $B\tilde{u}^{0,3}$

Расчет коэффициента поглощения топочной среды, $1/(\text{мМПа})$, проводится по формуле:

$$k = k_{\Gamma} + mk_{\text{C}}, \quad (6.12)$$

При сжигании мазута в газоплотных котлах $m = 0,3$, для негазоплотных котлов $m = 0,6$.

При сжигании природного газа $m = 0,1$. Это же значение принимается и для других газов, кроме доменного, для которого $m = 0$.

Коэффициент поглощения лучей газовой фазой продуктов сгорания (RO_2 , H_2O), $1/(\text{мМПа})$, рассчитывается по формуле:

$$\kappa_{\Gamma} = \kappa_{\Gamma}^0 r_{\Pi} = \left(\frac{7,8 + 16r_{\text{H}_2\text{O}}}{\sqrt{10 p r_{\Pi} s_{\Gamma}}} - 1 \right) (1 - 0,37 \cdot 10^{-3} T_{\Gamma}^{\prime\prime}) \cdot r_{\Pi}, \quad (6.13)$$

где: $r_{\Pi} = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}}$ – суммарная объемная доля трехатомных газов в продуктах сгорания; $T_{\Gamma}^{\prime\prime}$ – температура газов на выходе из топки принимается, К; κ_{Γ}^0 – определяется по рис. П. 3 или расчетом по формуле (6.13). Коэффициент поглощения лучей частицами сажи, 1/(ммПа):

$$\kappa_{\text{C}} = \frac{1,2}{1 + \alpha_{\Gamma}^2} \left(\frac{C^r}{H^r} \right)^{0,4} (1,6 \cdot 10^{-3} T_{\Gamma}^{\prime\prime} - 0,5), \quad (6.14)$$

где: α_{Γ} – коэффициент избытка воздуха на выходе из топки; $\frac{C^r}{H^r}$ – соотношение углерода и водорода в рабочей массе топлива.

При сжигании газа:

$$\frac{C^r}{H^r} = 0,12 \sum \frac{m}{n} C_m H_n, \quad (6.15)$$

где: m и n – количества атомов углерода и водорода в соединении.

Определение среднего значения коэффициента тепловой эффективности экранов Ψ_{CP} производится для 6 стен топочной камеры:

$$\Psi_{\text{CP}} = \frac{\sum \Psi_i F_i}{F_{\text{ст}}}, \quad (6.16)$$

где: Ψ_i – коэффициент тепловой эффективности соответствующий площади экрана стены; F_i – площадь экрана стены (с учетом горелок, лючков и т. д., при отсутствии геометрических параметров топки определяется по масштабу чертежа), м²; для неэкранированных стен и участков $\Psi = 0$; для каждой стены в общем случае:

$$\Psi = \zeta \cdot x, \quad (6.17)$$

где: ζ – коэффициент, учитывающий тепловое сопротивление загрязнения или закрытия экрана изоляцией (определяется по табл. 6.1); x – угловой коэффициент экрана, зависящий от s/d (рис. 6.2).

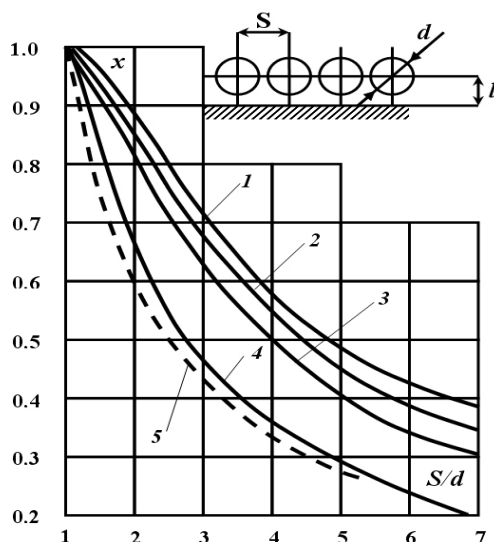


Рис. 6.2. Угловой коэффициент однорядного гладкотрубного экрана

Угловой коэффициент экрана принимается по рис. 6.2 в зависимости от расположения и относительного шага экранных труб топки S/d .

1. С учетом излучения обмуровки при $l \geq 1,4d$ (ДКВР и др.).
2. С учетом излучения обмуровки при $l = 0,8d$.
3. С учетом излучения обмуровки при $l = 0,5d$.
4. С учетом излучения обмуровки при $l = 0$ (ДЕ, КЕ).
5. Без учета излучения обмуровки при $l \geq 0,5d$.

Таблица 6.1

Коэффициенты теплового загрязнения экранов топки

Тип экрана	Топливо	$\zeta = \frac{\psi}{x}$
Настенные гладкотрубные и мембранные цельносварные экраны в камерных топках	Газообразное	0,65
	Мазут	0,55
Ошипованные экраны, покрытые огнеупорной массой	Все топлива	0,2
Экраны, закрытые шамотным кирпичом	Все топлива	0,1

Для выходного окна топки, отделяющим топку от расположенной за ним поверхности нагрева, коэффициент $\zeta_{\text{вых}}$ определяется по формуле:

$$\zeta_{\text{вых}} = \zeta \cdot \beta,$$

где: ζ – коэффициент, принимается по таблице таким же, как для настенных экранов; β – коэффициент, учитывающий взаимный теплообмен между топкой

и поверхностью нагрева; при размещении за окном фестона $\beta = 0,9$, котельного пучка – $\beta = 1,0$.

При отсутствии непосредственно за окном поверхности нагрева $\zeta_{\text{вых}} = 0,5$.

Удельное тепловое напряжение топочного объема, кВт/м³, определяется по формуле:

$$q_v = \frac{BQ_p^r}{V_T}, \quad (6.18)$$

а среднее удельное тепловое напряжение поверхности нагрева экранов, кВт/м²:

$$q_{\text{л}} = \frac{B Q_{\text{л}}}{F_{\text{ст}}}. \quad (6.19)$$

Тепловосприятие топки, кДж/м³ или кДж/кг:

$$Q_{\text{л}} = \varphi \cdot (Q_{\text{T}} - I_{\text{T}}''). \quad (6.20)$$

Расчетное значение q_v сравнивается с максимально допустимым для топки по табл. 3.2. Если расчетное значение больше, чем указано в таблице, то необходимо расчет повторить: задаться новым значением температуры или с новыми размерами топки.

Проверяется расчет топки по рис. П.4.

7. Расчет фестона

Для котлов типа КВГМ, ТВГМ, ПТВМ и др. после расчета топки производится поверочный расчет фестона [2]. Основными уравнениями являются: уравнение теплового баланса Q_6 и уравнение теплопередачи Q_{T} . При их равенстве графически определяется температура дымовых газов на выходе из фестона $\mathcal{G}_{\text{Ф}}''$.

Предварительно для ведения расчета задаются тремя значениями температуры газов на выходе из фестона $\mathcal{G}_{\text{Ф}}''$ и по ним считаются три значения Q_6 и Q_{T} . Далее строятся две кривые на одном графике (каждая по трем точкам) и их пересечение даст действительное $\mathcal{G}_{\text{Ф}}''$.

Рекомендуется вести расчет фестона в виде таблицы, задавшись такими значениям \mathcal{G}_Φ'' (в зависимости от теплопроизводительности котла), °С: 800, 1000 и 1200.

Расчетные величины	Обозначение	Размерность	Расчет величины при температуре газов, °С		
			800	1000	1200
1	2	3	4	5	6

В первую очередь считаются значения Q_Φ по трем температурам за фестоном. Балансовое количество тепла передается дымовыми газами фестону.

Расчет уравнения баланса тепла Q_Φ , кДж/м³ или кДж/кг :

$$Q_\Phi = \varphi \cdot (I' - I''), \quad (7.1)$$

где: φ – коэффициент сохранения тепла (из расчета топки); I' – теплосодержание дымовых газов на входе в фестон (при температуре \mathcal{G}_T'' и энтальпии газов на выходе из топки); I'' – теплосодержание газов на выходе из фестона, принимается по табл. 3.4.1 (по задаваемым трем температурам на выходе).

По уравнению (3.6.1) при трех температурах получаем три значения Q_Φ .

Расчет уравнения теплопередачи Q_T , кДж/м³ или кДж/кг :

$$Q_T = \frac{\kappa \cdot \Delta t \cdot H}{10^3 B}, \quad (7.2)$$

где: κ – коэффициент теплопередачи от дымовых газов к воде (среде), текущей внутри труб фестона, Вт/(м²К), определяется по форм. (7.3);

Δt – температурный напор, °С, определяется по формуле (7.13);

H – поверхность нагрева фестона, м², дается в характеристике котла.

Расчет коэффициента теплопередачи k , Вт/(м²К), для фестона

$$k = \frac{\Psi \alpha_1}{\alpha_1}, \quad \alpha_1 = (\alpha_\kappa + \alpha_\lambda) \quad (7.3)$$

где Ψ – коэффициент тепловой эффективности пучка, зависит от топлива и средней температуры газов \mathcal{G}_{CP}^T (Ψ принимается по табл. 6.1);

α_K – коэффициент теплоотдачи конвекцией (по рис. П.5) при поперечном омывании дымовыми газами расположенных в шахматном порядке гладких труб, Вт/(м²К);

α_L – коэффициент теплоотдачи излучением трехатомных газов (по рис. П.6), Вт/(м²К).

Таблица 7.1

Значения коэффициентов тепловой эффективности фестона и конвективного пучка [1]

Топливо и поверхность нагрева	Коэффициент тепловой эффективности ψ
Мазут:	
котельные пучки с коридорным шагом труб	0,65
экономайзеры и газоводяные подогреватели	0,65
котельный пучок, фестон	0,60
Газ:	
экономайзеры и газоводяные подогреватели	0,85
котельный пучок, фестон	0,80

Примечание. При сжигании мазута при α_0 более 1,03 значения ψ для всех поверхностей нагрева уменьшают на 0,05; при сжигании смеси топлив ψ принимаются по более загрязняющему топливу.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией определяется в зависимости от расположения фестона, направления движения дымовых газов, скорости газов, диаметра труб.

Считается три значения скорости газов \bar{w} , м/с, в фестоне по формуле:

$$\bar{w} = \frac{B V_r (g_{cp}^r + 273)}{273F}, \quad (7.4)$$

где: B – расход топлива, кг/с или м³/с; V_r – объем газов в фестоне (топке) по табл. 2.1, м³/м³ или м³/кг; F – живое сечение для прохода дымовых газов в фестоне, м², рассчитывается по формуле (7.6); g_{cp}^r – среднее значение температуры газов в фестоне, °С:

$$g_{\text{cp}}^r = \frac{g_{\text{ф}}'' + g_{\text{кп}}''}{2}. \quad (7.5)$$

Живое сечение фестона, м², рассчитывается по формуле:

$$F = a \cdot h - n_1 \cdot h \cdot d, \quad (7.6)$$

где a – ширина котла по чертежу, если чертежа нет, то оценивается по параметрам:

n_1 – количество рядов труб по ширине котла, шт.;

h – средняя длина труб фестона берется из чертежа котла, м;

d – диаметр труб фестона (диаметр экранных труб), м.

Затем считаются значения скорости газов в пучке в соответствии с тремя принятыми $g_{\text{ф}}''$. Зная скорости газов по рис. П. 5 определяем три значения $\alpha_{\text{к}}$.

Расчет коэффициента теплоотдачи излучением $\alpha_{\text{л}}$, Вт/(м²К).

В расчете учитывается излучение трехатомных газов, для чего определяется температура наружной стенки трубы с учетом загрязнений ($t_{\text{с}}$), степень черноты газов (a) при средней температуре газов g_{cp}^r .

Степень черноты определяется по формулам:

$$a = 1 - e^{-\kappa ps}, \quad (7.8)$$

$$\kappa ps = (\kappa_{\text{Г}} \cdot r_{\text{П}}) \cdot ps, \quad (7.9)$$

где: $\kappa_{\text{Г}}$ – коэффициент ослабления лучей трехатомными газами, определяется по рис. П.3 в зависимости от $r_{\text{H}_2\text{O}}$, комплекса $(r_{\text{H}_2\text{O}} + r_{\text{RO}_2}) \cdot sp$ и средней температуры газов в конвективном пучке для незапыленного потока, 1/(МПа);

p – давление газов в котле, $p = 0,1$ МПа;

S – эффективная толщина излучающего слоя, м:

$$S = 0,9d \left(\frac{4S_1S_2}{\pi d^2} - 1 \right), \quad (7.10)$$

где: S_1 и S_2 – продольный и поперечный шаги труб фестона (определяются из чертежа или по характеристике котла), м; $r_{\text{H}_2\text{O}}$ и r_{RO_2} – объемные доли водяных

паров и трехатомных газов (принимаются по табл. 3.1 «Расчет объемов продуктов сгорания и воздуха» как для топки).

Из рис. П. 6 по формуле (7.11) для незапыленного потока определяется $\alpha_{л}$, Вт/(м²К):

$$\alpha_{л} = \alpha_{н} \cdot a, \quad (7.11)$$

По графику определяем при температуре загрязненной наружной стенки (t_{ζ}) и трех значениях средней температуры газов в фестоне три значения коэффициента теплоотдачи излучением $\alpha_{л}$.

Температура загрязненной стенки (t_{ζ}), °С, определяется по формуле:

$$t_{\zeta} = t_{\text{ср}} + \Delta t_3, \quad (7.12)$$

где: $t_{\text{ср}}$ – средняя температура воды в фестоне при заданном давлении, °С;

Δt_3 – поправка на загрязнение, °С:

- при сжигании мазута для котельных пучков котлов малой мощности $\Delta t_3 = 60$ °С;
- при сжигании газа для всех поверхностей $\Delta t_3 = 25$ °С.

Расчет температурного напора для формулы (7.2), °С:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}, \quad \Delta t_6 = \mathcal{G}' - t_1; \quad \Delta t_m = \mathcal{G}'' - t_2; \quad (7.13)$$

где: t_1 и t_2 – температура воды на входе и выходе из фестона, °С;

\mathcal{G}' и \mathcal{G}'' – температура дымовых газов перед и после фестона ($\mathcal{G}' = \mathcal{G}''$ из расчета топки),

\mathcal{G}'' – предварительно задаваемая температура дымовых газов после фестона, °С.

При трех задаваемых \mathcal{G}'' по формуле (7.2) получим три значения Q_T .

По трем вычисленным значениям Q_6 и Q_T строится график (рис. 7.4), при пересечении линий графически определяется истинная температура дымовых

газов выходе из фестона. Причем разница в величинах Q_6 и Q_T должна быть менее или равна 5 %, т. е.

$$5 \geq (Q_6 - Q_T)100 / Q_6.$$

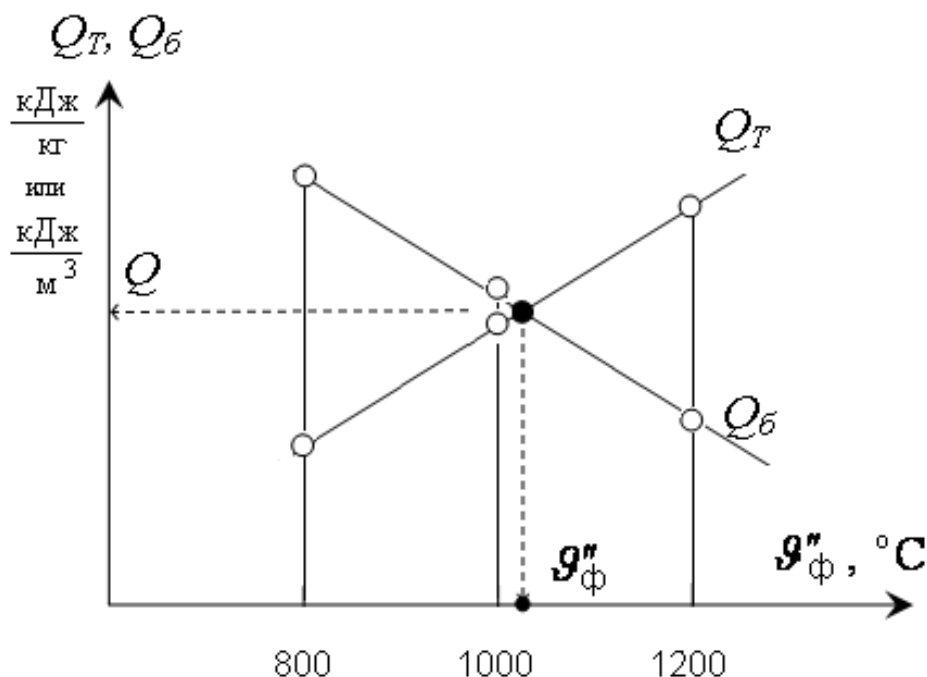


Рис. 7.4. Графическое определение температуры газов за фестоном

8. Расчет конвективных пучков

Конвективные пучки рассчитываются также как фестон. В зависимости от типа в котле может быть 2–3 пучка. Производится поверочный расчет пучков труб при известных температурах продуктов сгорания на входе в КП (g'), уходящих газов (g_{yx}) и воды на входе и на выходе из КП. Обычно пучки считаются как одна целая поверхность нагрева.

Основными уравнениями являются: уравнение теплового баланса Q_6 и уравнение теплопередачи Q_T .

Известны все основные параметры: температура газов на выходе из фестона $g''_ф$ и g_{yx} , по ним определяют среднее значение температуры газов, а далее значения Q_6 и Q_T .

Балансовое количество тепла передается дымовыми газами воде, протекающей в трубах конвективного пучка.

Расчет уравнения баланса тепла Q_6 , кДж/м³ или кДж/кг :

$$Q_6 = \varphi \cdot (I' - I'' + \Delta\alpha_{\text{пр}} I_{\text{х.в}}), \quad (8.1)$$

где: φ – коэффициент сохранения тепла (из расчета топки); I' – теплосодержание дымовых газов на входе в конвективные пучки (на выходе из фестона) при температуре $\mathcal{G}''_{\text{ф}}$; I'' – теплосодержание газов на выходе из котла (конвективных пучков) при известной температуре $\mathcal{G}_{\text{ух}}$.

По уравнению (8.1) получаем значение Q_6 .

Расчет уравнения теплопередачи $Q_{\text{т}}$, кДж/м³ или кДж/кг :

$$Q_{\text{т}} = \frac{\kappa \cdot \Delta t \cdot H}{10^3 B}, \quad (8.2)$$

где κ – коэффициент теплопередачи от дымовых газов к воде (среде), текущей внутри труб конвективного пучка, Вт/(м²К), определяется по формуле (3.7.3); Δt – температурный напор, °С, определяется по формуле (8.12); H – поверхность нагрева фестона, м², дается в характеристике котла.

Расчет коэффициента теплопередачи k , Вт/(м²К):

$$\kappa = \psi (\alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}), \quad (8.3)$$

где ψ – коэффициент тепловой эффективности пучка, зависит от: топлива и средней температуры газов $\mathcal{G}_{\text{ср}}^{\text{г}}$ (ψ принимается по табл. 7.1);

$\alpha_{\text{к}}$ – коэффициент теплоотдачи конвекцией (по рис. П.5) для гладких труб, расположенных в шахматном порядке при поперечном омывании дымовыми газами, Вт/(м²К);

$\alpha_{\text{л}}$ – коэффициент теплоотдачи излучением трехатомных газов (по рис. П.6), Вт/(м²К).

Коэффициент теплоотдачи конвекцией зависит от: расположения КП, направления движения дымовых газов, скорости газов, диаметра труб.

Расчет скорости газов \bar{w} , м/с, в конвективном пучке считается так:

$$\bar{w} = \frac{B V_r (g_{cp}^r + 273)}{273F}, \quad (8.4)$$

где V_r – объем газов в конвективном пучке по табл. 2.1, м³/м³ или м³/кг;

F – живое сечение для прохода дымовых газов в пучке, м², рассчитывается по формуле (8.6);

g_{cp}^r – среднее значение температуры газов в пучке, °С:

$$g_{\text{н\ddot{o}}}^{\bar{r}} = \frac{g_{\text{о}}'' + g_{\text{EI}}''}{2}. \quad (8.5)$$

Живое сечение конвективного пучка, м², рассчитывается по формуле:

$$F = a \cdot h - n_1 \cdot h \cdot d, \quad (8.6)$$

где a – глубина конвективного пучка по чертежу, если чертежа нет, то она оценивается по параметрам газохода котла;

n_1 – количество рядов труб по глубине, шт.;

h – длина труб конвективного пучка (берется из чертежа котла), м.

Затем считаются три значения средней скорости газов в пучке в соответствии с тремя принятыми $g_{\text{ф}}''$. Зная скорости газов по рис. П.5 определяем три значения $\alpha_{\text{к}}$.

Расчет коэффициента теплоотдачи излучением $\alpha_{\text{л}}$, Вт/(м²К).

В расчете учитывается излучение трехатомных газов, для чего определяется температура наружной стенки трубы с учетом загрязнений ($t_{\text{с}}$), степень черноты газов (a) при средней температуре газов g_{cp}^r .

Степень черноты определяется по формулам:

$$a = 1 - e^{-\kappa ps}, \quad (8.8)$$

$$\kappa ps = (\kappa_{\text{Г}} \cdot r_{\text{II}}) \cdot ps, \quad (8.9)$$

где $\kappa_{\text{Г}}$ – коэффициент ослабления лучей трехатомными газами, определяются

по рис. П.3 в зависимости от $r_{\text{H}_2\text{O}}$, комплекса $(r_{\text{H}_2\text{O}} + r_{\text{RO}_2}) \cdot sp$ и средней

температуры газов в конвективном пучке для незапыленного потока, $1/(\text{МПа})$;

p – давление газов в котле, $p = 0,1 \text{ МПа}$;

S – эффективная толщина излучающего слоя, м:

$$S = 0,9d \left(\frac{4S_1S_2}{\pi d^2} - 1 \right), \quad (8.10)$$

где S_1 и S_2 – продольный и поперечный шаги труб КП (определяются из чертежа или по характеристике котла), м;

$r_{\text{H}_2\text{O}}$ и r_{RO_2} – объемные доли водяных паров и трехатомных газов (принимаются по табл. 3.1, как для топки).

Из рис. П.6 по формуле для незапыленного потока, $\alpha_{\text{л}}$, Вт/(м²К):

$$\alpha_{\text{л}} = \alpha_{\text{н}} \cdot a, \quad (8.11)$$

и по графику определяем при температуре загрязненной наружной стенки $\Delta t_{\text{с}}$ и трех значениях средней температуры газов в пучке три значения коэффициента теплоотдачи излучением $\alpha_{\text{л}}$.

Температура загрязненной стенки ($t_{\text{с}}$), °С, определяется по формуле:

$$t_{\text{с}} = t_{\text{ср}} + \Delta t_{\text{з}}, \quad (8.12)$$

где $t_{\text{ср}}$ – средняя температура воды в конвективном пучке, °С; $\Delta t_{\text{з}}$ – поправка на загрязнение, °С:

- **при сжигании газа:** $\Delta t_{\text{з}} = 25 \text{ °С}$;
- **при сжигании мазута:** для одноступенчатых экономайзеров (или конвективных пучков) при $\mathcal{G}' > 400 \text{ °С}$, вторых ступеней двухступенчатых экономайзеров и котельных пучков котлов малой мощности $\Delta t_{\text{с}} = 60 \text{ °С}$, для одноступенчатых экономайзеров при $\mathcal{G}' \leq 400 \text{ °С}$ $\Delta t_{\text{з}} = 25 \text{ °С}$.

Расчет температурного напора по формуле (8.13), °С:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad \Delta t_{\text{б}} = \mathcal{G}' - t_1; \quad \Delta t_{\text{м}} = \mathcal{G}_{\text{вх}} - t_2, \quad (8.13)$$

где: t_1 и t_2 – температура воды перед и после конвективного пучка, °С; ϑ' и ϑ_{yx} – температура дымовых газов перед и после конвективного пучка.

Разница в величинах Q_6 и Q_T должна быть менее или равна 2 %, т. е. $2 \geq (Q_6 - Q_T)100 / Q_6$. В противном случае расчет производится снова, причем ϑ_{yx} может отличаться от принятой не более, чем на ± 10 °С.

На рис. П.7 представлено графическое определение коэффициента теплопередачи конвекцией при поперечном омывании коридорных гладкотрубных пучков.

9. Составление поверочного теплового баланса. Сводная таблица расчета котла

Тепловой баланс, кДж/кг, кДж/м³, составляется по уравнению:

$$\frac{Q_p \cdot \eta}{100} = (Q_T + Q_\Phi + Q_{кп}), \quad (9.1)$$

где: $Q_T, Q_\Phi, Q_{кп}$ – количество теплоты (балансовое), переданное в топке, в фестоне, в конвективном пучке, кДж/кг, кДж/м³.

Ошибка в расчете баланса котла не должна превышать 0,5%.

Таблица 9.1

Величины	Размерность	Топка	Фестон	Конвективные пучки
Температура газов на входе	°С	-		
Температура газов на выходе	°С			
Тепловосприятие, воды на входе	кДж/кг, кДж/м ³			
Тепловосприятие, воды на выходе	кДж/кг, кДж/м ³			
Скорость газов	м/с	-		

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные номинальные параметры котла.
2. Что геометрически представляет топка этого котла?
3. Какие поверхности нагрева проходят дымовые газы с момента образования до выхода из котла?
4. Какие виды теплообмена в топке (со стороны продуктов сгорания)?
5. Какой вид теплообмена в фестоне?
6. Как посчитать q_5 , %, для этого котла.
7. Что такое теоретическая температура горения?
8. Какие виды излучения (поглощения) учитываются при расчете коэффициента поглощения среды в топке?
9. Как посчитать температурный напор?
10. Что такое КПД?
11. Как посчитать расход топлива, зная производительность и КПД котла?
12. Назовите величины, входящие в состав топлива?
13. Основные реакции горения топлива.
14. Что такое коэффициент расхода воздуха?
15. Циркуляция воды в котле.
16. Какие основные параметры воды (скорости и температура) должны быть выдержаны при проектировании котла?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – Издание 3, перераб. и доп. – СПб. : Изд. НПОЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / под редакцией С.Л. Кузнецова. – М. : Энергия, 1973. – 295 с.
3. Голдобин, Ю.М. Теплофизические свойства топлив, продуктов сгорания и воздуха. Приложение к методическим указаниям / Ю.М. Голдобин, О.К. Витт, Л.Г. Гальперин. – Екатеринбург : изд. УГТУ–УПИ, 1994. – 26 с.
4. Котлы малой и средней мощности. Каталог-справочник. – М. : НИИНФОРМТЯЖМАШ, 1972. – 207 с.
5. Котлы малой и средней мощности и топочные устройства: Отраслевой каталог. – М. : НИИЭИНФОРМЭНЕРГОМАШ, 1987. – 208 с.
6. Роддатис, К.Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности / К.Ф. Роддатис, А.Н. Полтарецкий. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 487 с.
7. Делягин, Г.И. Теплогенерирующие установки / Г.И. Делягин, В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 586 с.
8. Стырикович, В.А. Котельные агрегаты / В.А. Стырикович [и др.]. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1959. – 487 с.
9. Лумми А.П. Расчет котла / А.П. Лумми, Н.Ф. Филипповский, Е.В. Черепанова. – Екатеринбург : изд. дом «Время», ризограф УГТУ–УПИ, 2006. – 50 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Теплоемкость продуктов сгорания газов и воздуха

$\vartheta, \text{ }^\circ\text{C}$	$(C\vartheta)_{\text{CO}_2}$	$(C\vartheta)_{\text{N}_2}$	$(C\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}$	$(C\vartheta)_{\text{B}}$
	кДж/м ³			
100	171,7	130,1	150,5	132,7
200	360,0	261,0	304,0	267,0
300	563	394	463	403
400	776	529	626	542
500	999	667	795	685
600	1231	808	969	830
700	1469	952	1149	979
800	1712	1098	1334	1129
900	1961	1247	1526	1283
1000	2213	1398	1723	1438
1100	2458	1551	1925	1595
1200	2717	1705	2132	1754
1300	2977	1853	2344	1914
1400	3239	2009	2559	2076
1500	3503	2166	2779	2239
1600	3769	2324	3002	2403
1700	4036	2484	3229	2567
1800	4305	2644	3458	2732
1900	4574	2804	3690	2899
2000	4844	2965	3926	3066
2100	5115	3127	4163	3234
2200	5386	3289	4402	3402
2300	5658	3452	4643	3571
2400	5930	3615	4888	3740
2500	6203	3778	5132	3910

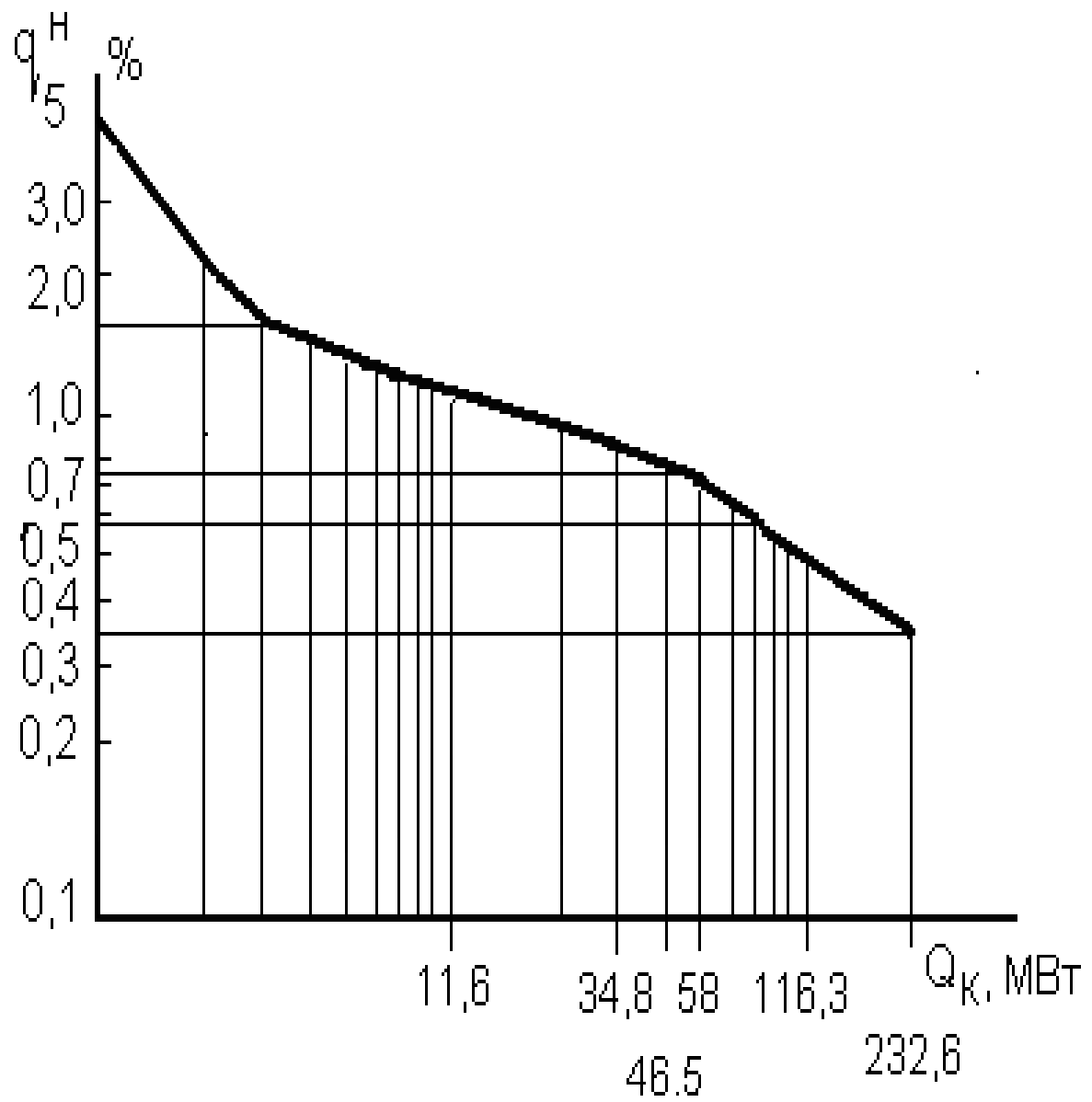


Рис. П.2. Потери тепла от наружного охлаждения водогрейного котла [8]

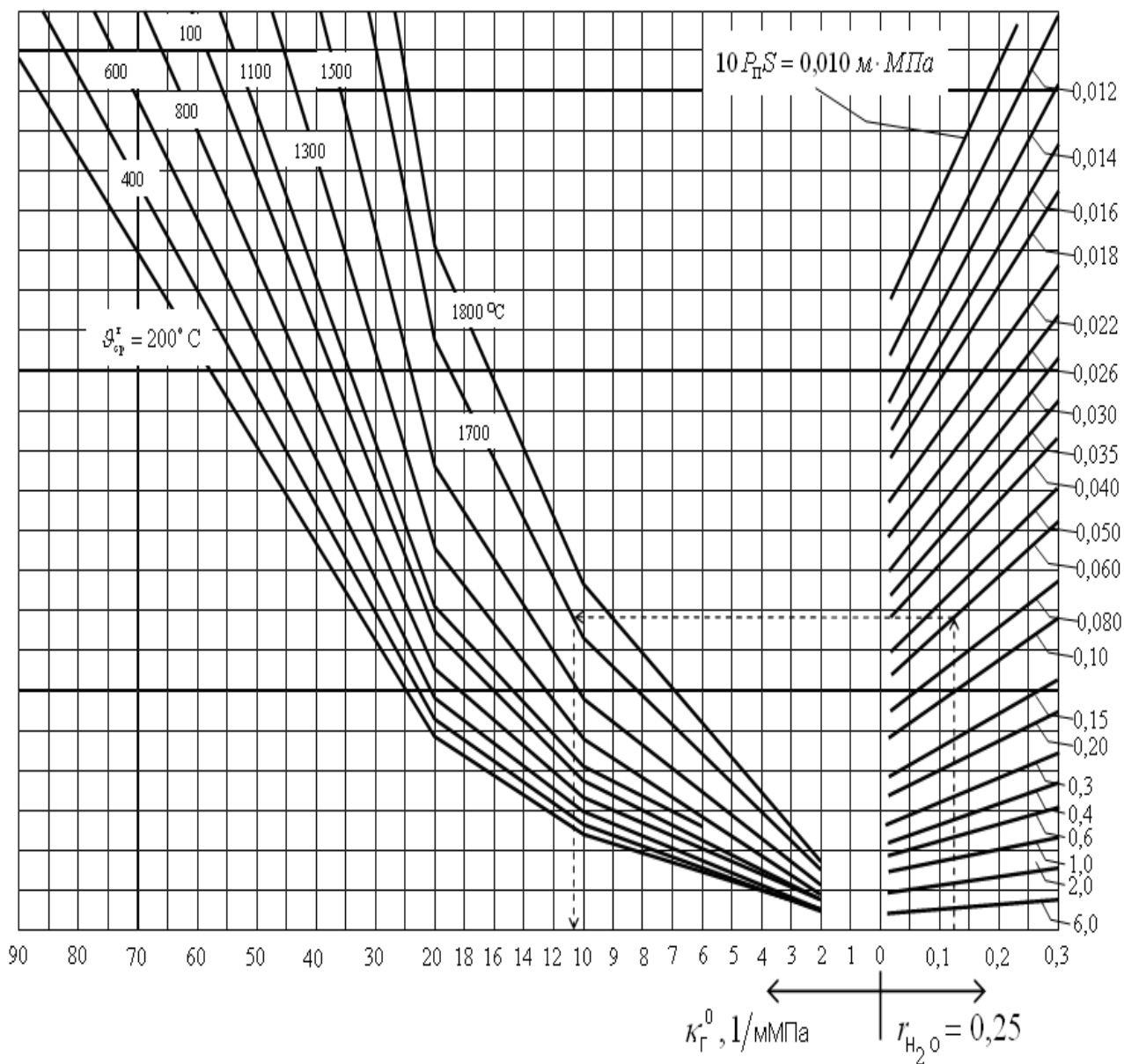


Рис. П.3. Графическое определение коэффициента поглощения лучей газовой фазой продуктов сгорания

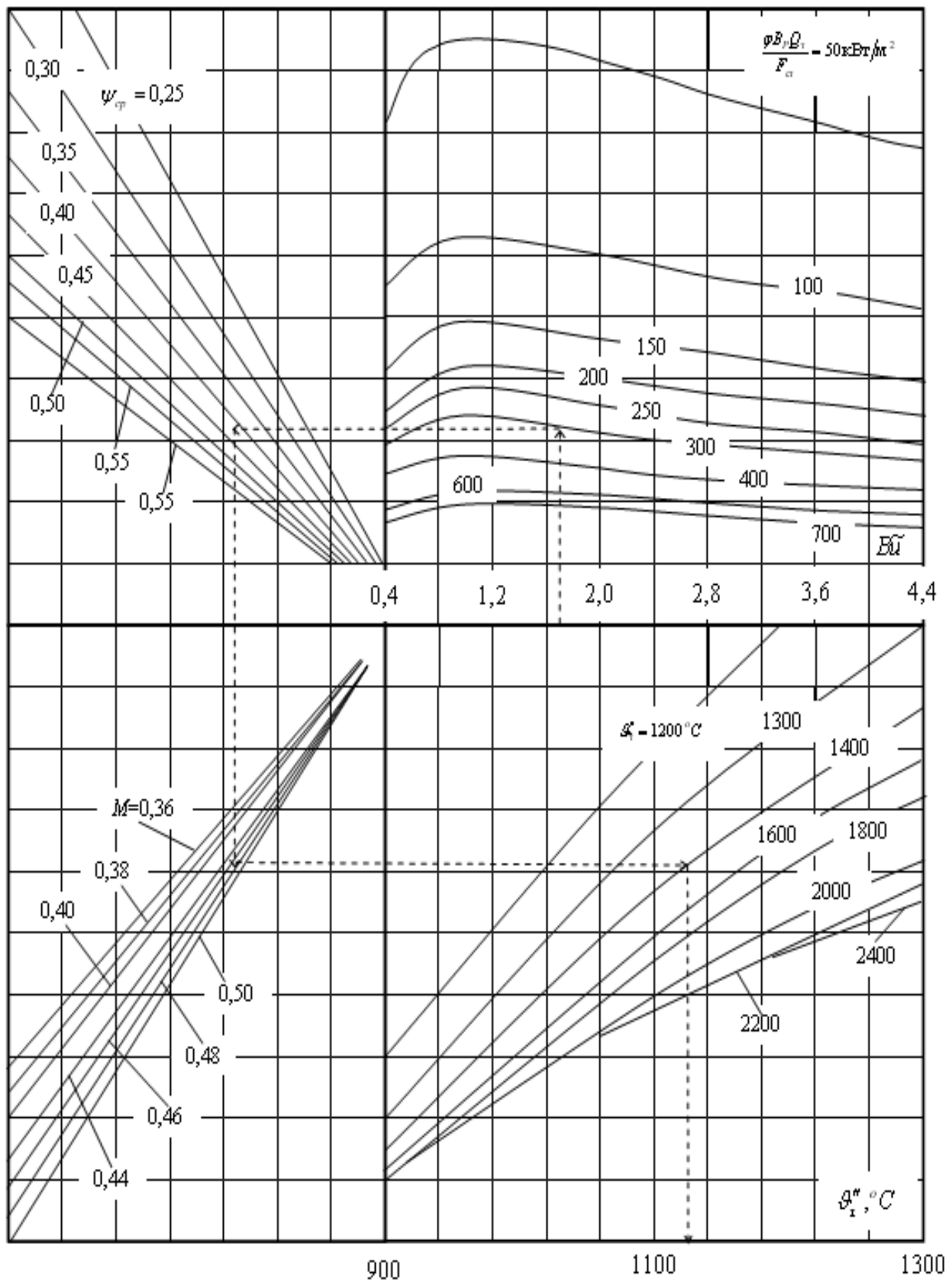


Рис. П.4. Температура газов на выходе из топки (проверка результатов расчета)

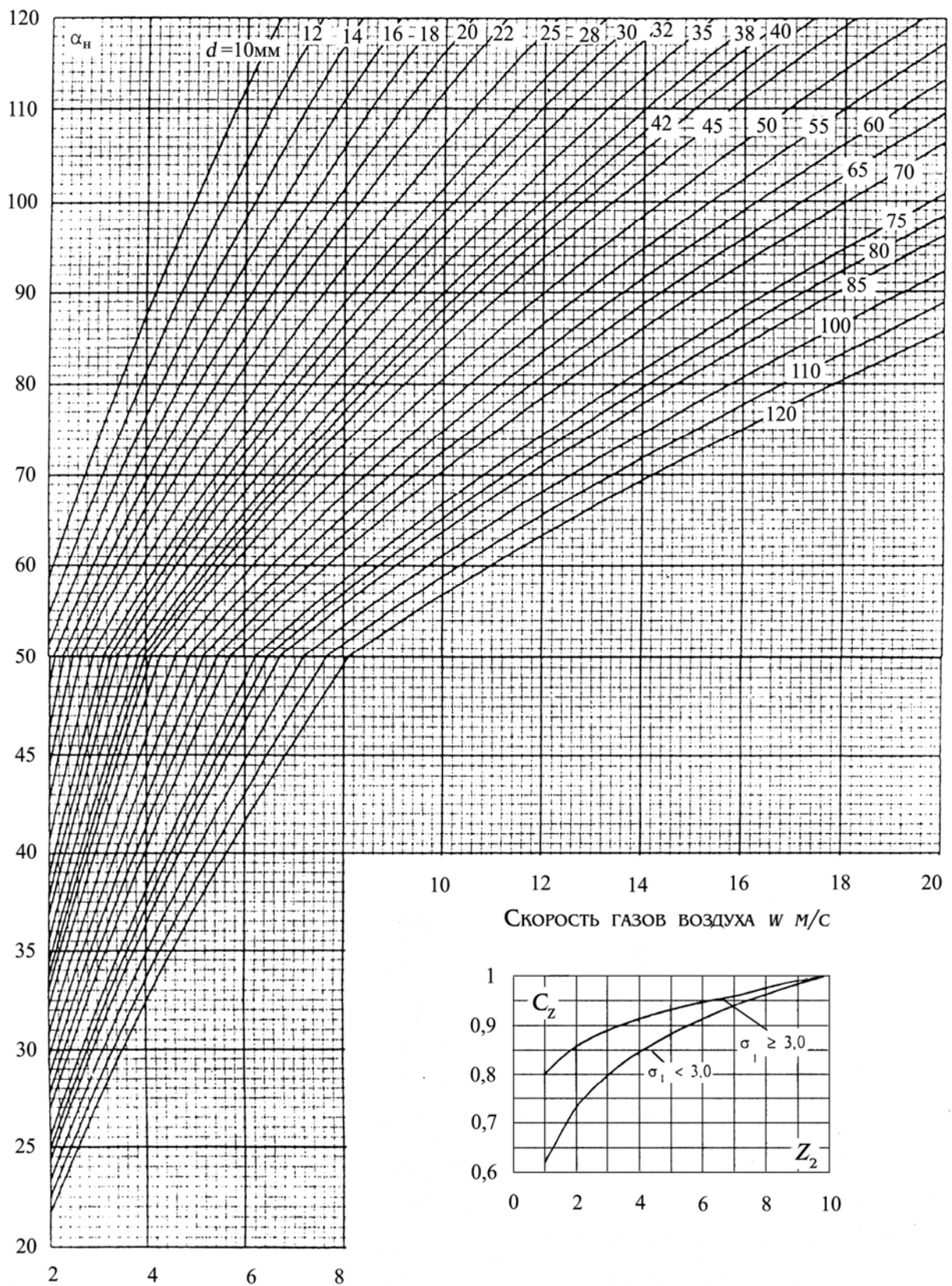


Рис. П.5 (а). Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных гладкотрубных пучков по формуле: $\alpha_K = \alpha_H C_Z C_S C_\Phi$, Вт/м²К (поправки см. рис. П. 5 (б))

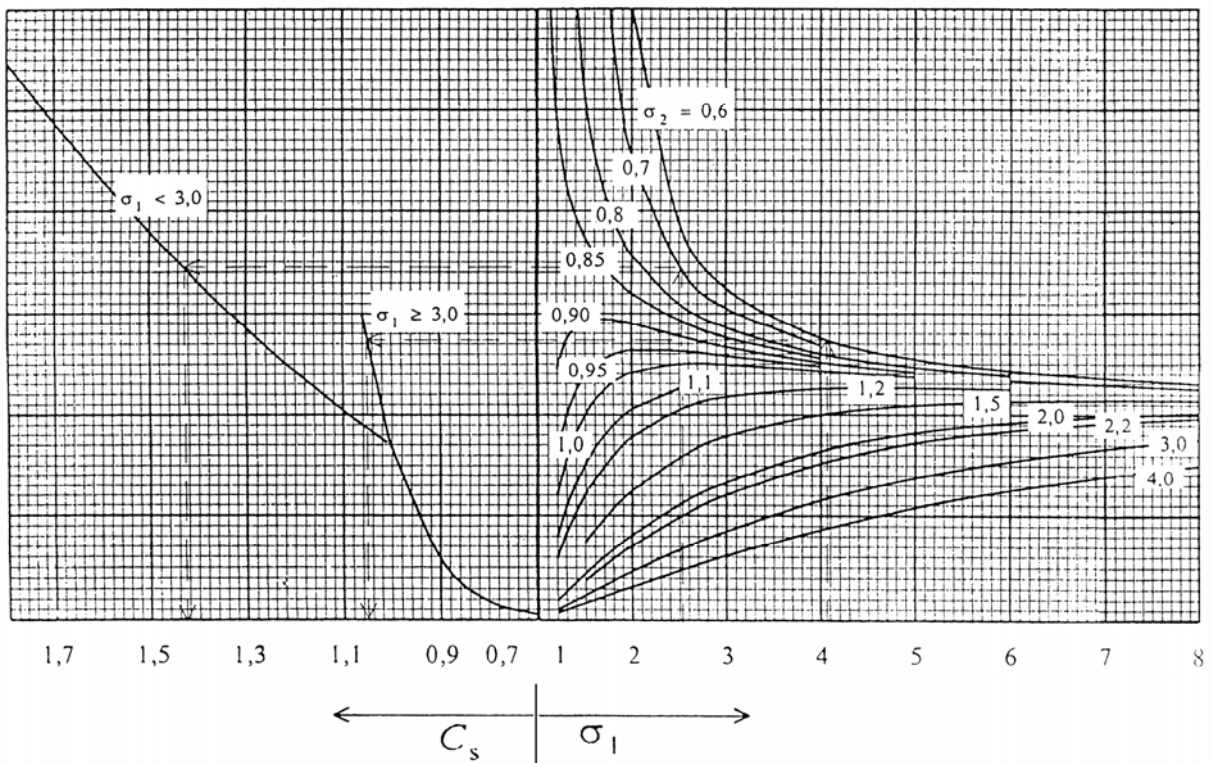
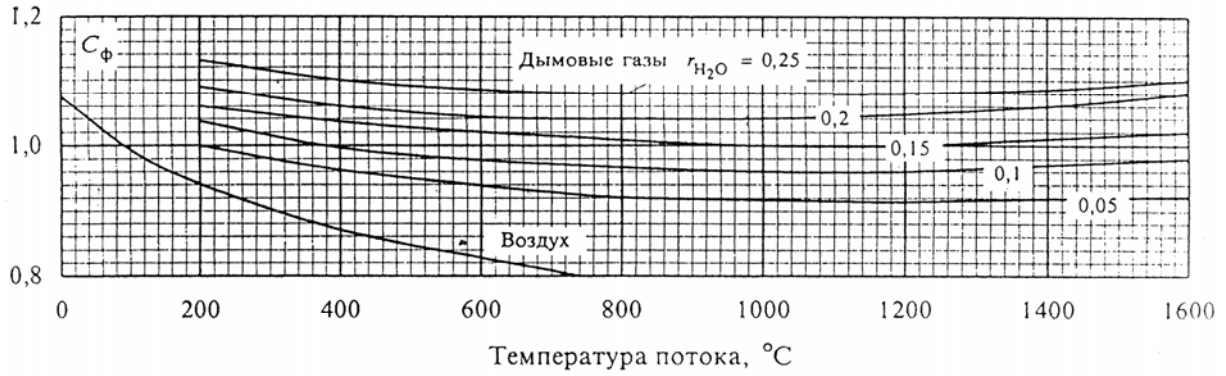
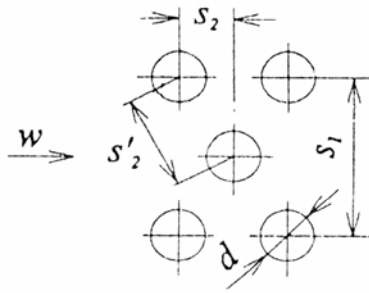
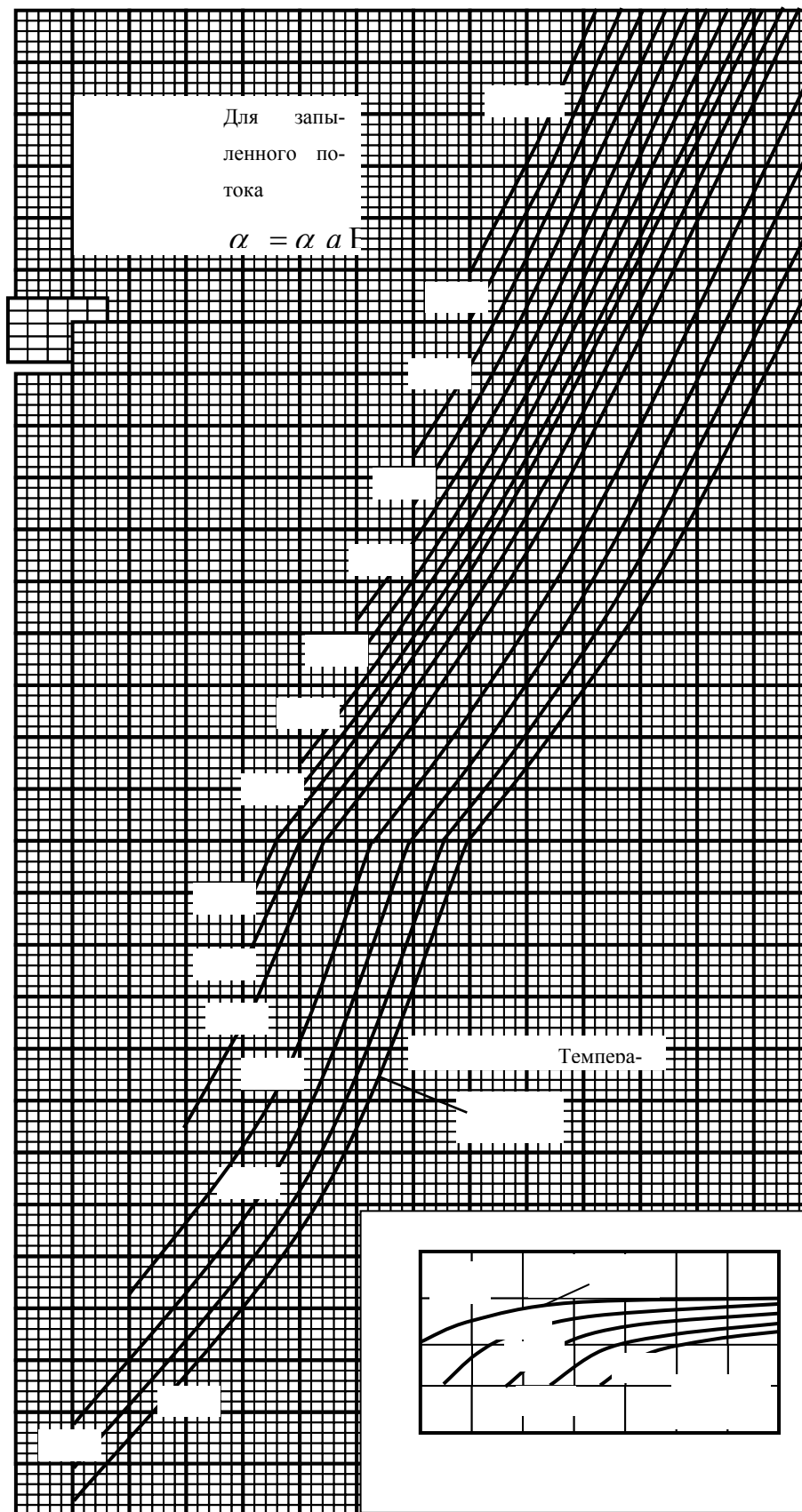


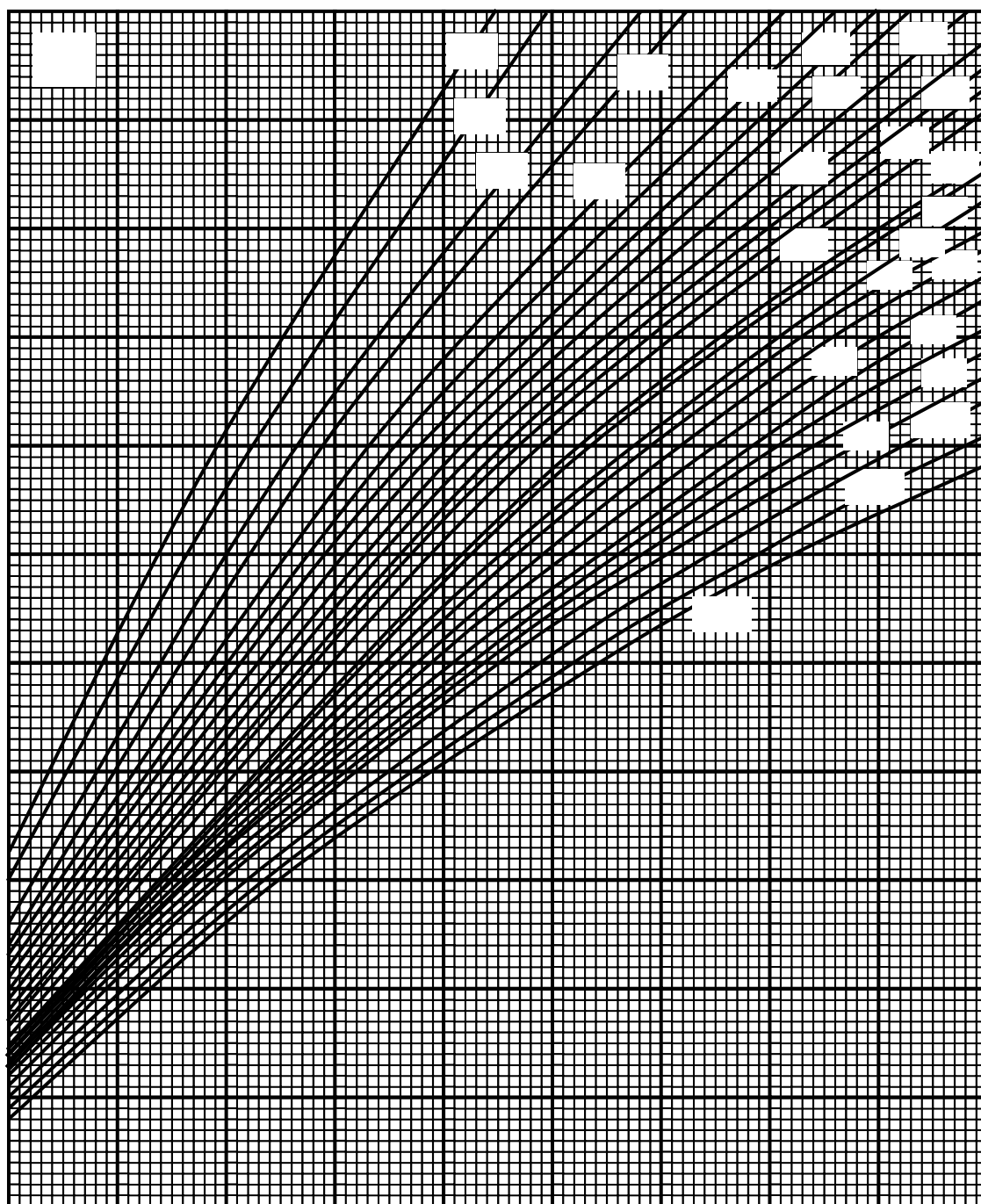
Рис. П.5 (б). Поправки к определению коэффициента теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных гладкотрубных пучков (см. рис. П.5 (а))



Средняя температура газов, °С

Рис. П.6. Коэффициент теплоотдачи излучением

$\alpha_{\text{ср}}^{\Gamma}$



Скорость газов w , м/с

Рис. П.7 (а). Коэффициент теплопередачи конвекцией при поперечном омывании коридорных гладкотрубных пучков $\alpha_k = \alpha_n C_Z C_S C_\phi$, Вт/м²К

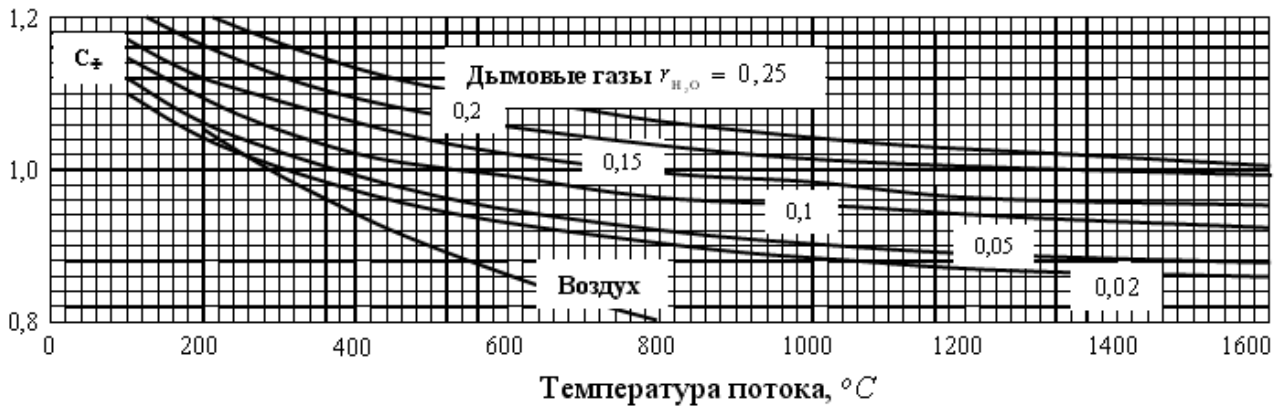
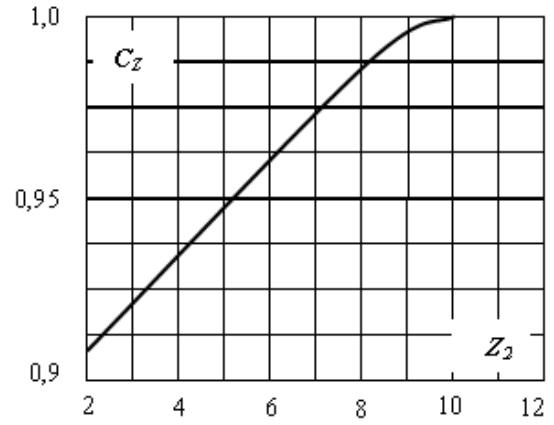
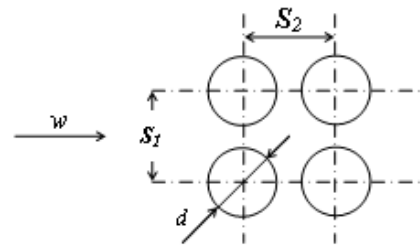
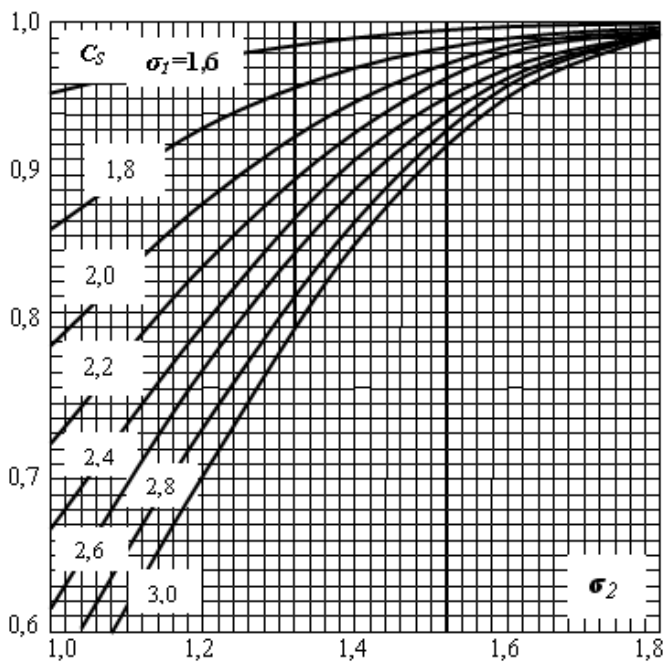


Рис. П.7 (б). Поправки на коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании коридорных гладкотрубных пучков

Учебное электронное текстовое издание

Лумми Адольф Павлович

Мунц Владимир Александрович

РАСЧЕТ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА

Редактор
Компьютерный набор

А.В. Ерофеева
А.П. Лумми

Рекомендовано РИС ГОУ ВПО УГТУ–УПИ
Разрешен к публикации 27.11.09
Электронный формат – pdf
Объем 2,1 уч.-изд. л.

Издательство ГОУ ВПО УГТУ–УПИ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Информационный портал
ГОУ ВПО УГТУ–УПИ
<http://www.ustu.ru>