

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор-директор ЭНИН  
\_\_\_\_\_ Ю.С. Боровиков  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2011 г.

# **РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВ, ОБЪЕМОВ И ЭНТАЛЬПИЙ ВОЗДУХА И ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ**

## **ЧАСТЬ I**

Методические указания к выполнению курсовой работы  
по дисциплинам «Технологические процессы и производства ТЭС и АЭС»,  
«Котельные установки и парогенераторы» для студентов III–IV курсов,  
обучающихся по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»

*Составители* **Т.С. Тайлашева, Н.В. Визгавлюст, К.В. Буваков**

Издательство  
Томского политехнического университета  
2011

УДК 621.182.2-6.001.5(075.8)

ББК 31.361я73

P24

**Расчет элементного состава и теплотехнических характеристик топлив, объемов и энтальпий воздуха и продуктов сгорания:**  
P24 методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплинам «Технологические процессы и производства ТЭС и АЭС», «Котельные установки и парогенераторы» для студентов III–IV курсов, обучающихся по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника». Часть I / сост. Т.С. Тайлашева, Н.В. Визгавлюст, К.В. Буваков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 20 с.

УДК 621.182.2-6.001.5(075.8)

ББК 31.361я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
парогенераторостроения и парогенераторных установок ЭНИН  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2011г.

Зав. кафедрой ПГС и ПГУ

доктор техн. наук,

профессор

\_\_\_\_\_ А.С. Заворин

Председатель

учебно-методической комиссии

\_\_\_\_\_ А.В. Глазачев

*Рецензент*

Кандидат технических наук

заведующий кафедрой АТЭС ЭНИН ТПУ

*Л.А. Беляев*

© Составление. ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011

© Тайлашева Т.С., Визгавлюст Н.В.,  
Буваков К.В., составление, 2011

© Оформление. Издательство Томского  
политехнического университета, 2011

## Введение

Тепловой расчет котла выполняется поверочным методом, целью которого является оценка возможности работы и эффективности заданного котла в целом и отдельных его компонентов при переводе на сжигание нового топлива.

Тепловой расчет котла включает ряд этапов: расчеты с топливом, расчет объемов и тепловосприятий воздуха и продуктов сгорания, определение расхода топлива, расчет топки, распределение тепловосприятий по элементам конвективной шахты, водяного экономайзера или воздухоподогревателя. Выполнение поверочного теплового расчета производится на основании исходных данных, представленных в задании.

Расчетными теплотехническими характеристиками топлива являются элементарный состав рабочей массы ( $C^T, H^T, S_{p+o}^T, N^T, O^T$ ), зольность  $A^T$  и влажность  $W^T$  рабочего топлива, низшая теплота сгорания  $Q_H^T$ , выход летучих на горючую массу  $V^{daf}$  и тепловые характеристики золы ( $t_A, t_B, t_C$ ).

Необходимо провести анализ характеристик топлива по заданию, на соответствие с табличными характеристиками, т. к. возможны отклонения зольности и влажности топлив от табличных значений. Несоответствие влажности и зольности сжигаемого топлива ( $W^T, A^T$ ) средним табличным характеристикам ( $W_T^P, A_T^P$ ), приводимым для отдельного месторождения в справочной таблице, на практике встречается повсеместно. Это обусловлено колебаниями влажности и зольности добываемых топлив, которые зависят от времени года и технологии добычи, а также условиями транспортировки и хранения. В этом случае изменяется теплота сгорания топлива и связанные с ней объемы и энтальпии образующихся газов и расход воздуха на сжигание топлива. Эти характеристики необходимо рассчитать.

## 1 Расчетные характеристики топлива

### 1.1 Сжигаемое топливо: (указывается в задании)

Приводится наименование месторождения, бассейна и марка топлива в соответствии с заданием.

### 1.2 Средний (табличный) состав топлива для рабочего состояния, % (для заданного твердого или жидкого топлива значения $W_T^P, A_T^P, (S_{p+o}^T)_T, C_T^P, H_T^P, N_T^P, O_T^P$ [1, табл. 1]).

1.3 Низшая теплота сгорания

$$Q_{нт}^p, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} [1, \text{табл. 1}].$$

1.4 Выход летучих для сухого беззольного состояния (горючая масса)

$$V^{daf}, \% [1, \text{табл. 1}].$$

1.5 Температурные характеристики золы [1, табл. 1]

1.5.1 Температура начала деформации

$$t_A, ^\circ\text{C}.$$

1.5.1 Температура начала размягчения

$$t_B, ^\circ\text{C}.$$

1.5.1 Температура начала жидкоплавкого состояния

$$t_C, ^\circ\text{C}.$$

1.5.1 Температура нормального жидкого шлакоудаления

$$t_{н.ж.}, ^\circ\text{C}.$$

1.6 Влага гигроскопическая [1, табл. 1]

$$W^{гн}, \%.$$

1.7 Приведенная влажность и зольность [1, табл. 1]

$$W_{пр}^p, A_{пр}^p \cdot \frac{\%_{\text{КК}}}{\text{МДж}}, \text{кг}.$$

1.8 Значения влажности и зольности топлива по заданию

$$W^p, A^p, \%.$$

1.9 Коэффициент пересчета состава топлива на массу с заданной влажностью и зольностью

$$k = \frac{100 - (A^p + W^p)}{100 - (A_T^p + W_T^p)}.$$

1.10 Расчетный состав рабочей массы топлива

$$S_{(o+p)}^p = k \cdot S_{(o+p)T}^p, \%,$$

$$C^p = k \cdot C_T^p, \%,$$

$$N^p = k \cdot N_T^p, \%,$$

$$H^p = k \cdot H_T^p, \%,$$

$$O^p = k \cdot O_T^p, \%.$$

*Примечание:* Расчетные значения округляются до десятых.

1.11 Проверка правильности перерасчета состава топлива

$$A^p + W^p + S_{o+p}^p + C^p + N^p + H^p + O^p = 100, \%.$$

1.12 Низшая теплота сгорания для рабочего состояния топлива при заданных влажности и зольности

$$Q_{нт}^p = \left[ Q_{нт}^p + 24,42W_T^p \right] \cdot k - 24,42W^p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

## 2 Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания

Объемы воздуха и продуктов сгорания при сжигании твердых и жидких топлив в атмосферном воздухе определяется по приведенным ниже формулам. Теоретическое количество сухого воздуха, необходимого для полного сгорания топлива (коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1$ )

2.1 Теоретическое количество сухого воздуха, необходимого для полного сгорания топлива (коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1$ )

$$V_B^0 = 0,0889(C^P + 0,375S^P) + 0,265H^P - 0,0333O^P, \frac{M^3}{кг}.$$

2.2 Теоретические объемы продуктов сгорания, полученные при полном сгорании топлива с теоретически необходимым количеством воздуха ( $\alpha = 1$ )

2.2.1 азота

$$V_{N_2}^0 = 0,79V_B^0 + 0,008N^P, \frac{M^3}{кг},$$

2.2.2 трехатомных газов

$$V_{RO_2} = 0,01866(C^P + 0,375S^P), \frac{M^3}{кг},$$

2.2.3 водяных паров

$$V_{H_2O}^0 = 0,111H^P + 0,0124W^P + 0,0161V_B^0, \frac{M^3}{кг}.$$

При наличии парового дутья или парового распыливания мазута с расходом пара  $G_{\phi} \frac{кг}{кг}$ , к величине  $V_{H_2O}^0$  добавляется величина  $1,24 G_{\phi}$ .

2.3 Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки  $\alpha_r$  (принимается в зависимости от типа топочного устройства и рода сжигаемого топлива по данным таблиц XVIII–XXI [1]).

2.4 Объемы продуктов сгорания при избытке воздуха  $\alpha > 1$

2.4.1 объем водяных паров

$$V_{H_2O}^H = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha - 1)V_B^0, \frac{M^3}{кг},$$

2.4.2 объем дымовых газов

$$V_{\Gamma}^H = V_{RO_2} + V_{ON_2}^0 + V_{H_2O}^0 + (\alpha - 1)V_B^0, \frac{M^3}{кг},$$

2.4.3 объемные доли трехатомных газов

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{\Gamma}^H}, \quad r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}^H}{V_{\Gamma}^H}.$$

## 2.5 Концентрация золы в продуктах сгорания

$$\mu_{\text{зл}} = \frac{A^p a_{\text{ун}}}{100 G_{\text{Г}}}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}},$$

где  $a_{\text{ун}}$  – доля золы топлива, уносимой газами; определяется по таблицам XVIII, XIX и XXI [1]. Для котлов с твердым шлакоудалением  $a_{\text{ун}} = 0,95$ ;  $G_{\text{Г}}$  – масса продуктов сгорания,

$$G_{\text{Г}} = 1 - \frac{A^p}{100} + 1,306\alpha V_0^{\text{H}}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}.$$

Величины объемов  $V_{\text{Г}}^{\text{H}}$  и  $V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{H}}$  подсчитываются отдельно для топки и расположенных за ней поверхностей нагрева по средним значениям коэффициента избытка воздуха. Результаты этих расчетов рекомендуется представить в виде таблицы (Приложение 1).

Число колонок таблицы объемов воздуха и продуктов сгорания определяется количеством поверхностей нагрева заданного котла и их компоновкой. Поэтому, прежде чем приступать к составлению таблицы, указанной в Приложении 1 необходимо определить по чертежам и эскизам заданного котла число поверхностей нагрева. Для традиционных компоновок поверхностей нагрева котлов средней мощности за топкой расположены следующие поверхности нагрева: ширмы (ШПП), конвективный пароперегреватель 2 и 1-ой ступеней (КПП<sub>1</sub> и КПП<sub>2</sub>), водяной экономайзер 2 ступени (ЭК<sub>2</sub>), воздухоподогреватель 2 ступени (ВП<sub>2</sub>), водяной экономайзер 1 ступени (ЭК<sub>1</sub>) и воздухоподогреватель 1 ступени (ВП<sub>1</sub>) (рис. 1, а). Возможна и одноступенчатая компоновка низкотемпературных поверхностей нагрева (рис. 1, б).

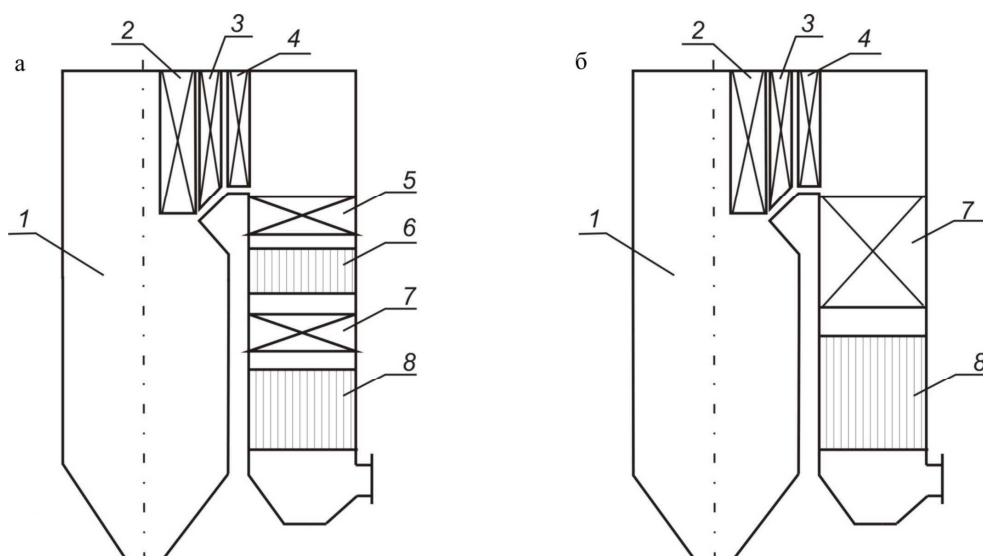


Рис. 1. Схема компоновки поверхностей нагрева котла:  
 а – двухступенчатая компоновка; б – одноступенчатая компоновка;  
 1 – топка, 2 – ШПП, 3 – КПП<sub>2</sub>, 4 – КПП<sub>1</sub>, 5 – ЭК<sub>2</sub>, 6 – ВП<sub>2</sub>, 7 – ЭК<sub>1</sub>, 8 – ВП<sub>1</sub>

После определения компоновки поверхностей нагрева по газоходам котла, необходимо принять величину коэффициента избытка воздуха на выходе из топки  $\alpha_i''$  и присосы воздуха в газоходах  $\Delta\alpha_i$ , где предполагаются поверхности нагрева котла.

Эти величины определяются по рекомендациям [1, таб. XVIII–XXI] в зависимости от типа топочных устройств и рода сжигаемого топлива.

Часть этих величин приведена в Приложении 2.

2.6 Присосы воздуха по принятой компоновке поверхностей нагрева по отдельным газоходам ( $\Delta\alpha_i$ ) [1, табл. XVII] (Приложение 2)

2.6.1 Присосы воздуха в газопровод ширмового пароперегревателя

$$\Delta\alpha_{\text{шпп}}$$

2.6.2 Присосы воздуха в газопровод конвективного пароперегревателя

$$\Delta\alpha_{\text{кпп}_1} = \Delta\alpha_{\text{кпп}} / n, \quad \Delta\alpha_{\text{кпп}_2} = \Delta\alpha_{\text{кпп}} / n,$$

где  $n$  – число ступеней.

2.6.3 Присосы воздуха в газопровод второй ступени водяного экономайзера

$$\Delta\alpha_{\text{ЭК}_2}$$

2.6.4 Присосы воздуха в газопровод второй ступени воздухоподогревателя

$$\Delta\alpha_{\text{ВП}_2}$$

2.6.5 Присосы воздуха в газопровод первой ступени водяного экономайзера

$$\Delta\alpha_{\text{ЭК}_1}$$

2.6.6 Присосы воздуха в газопровод первой ступени воздухоподогревателя

$$\Delta\alpha_{\text{ВП}_1}$$

2.7 Коэффициент избытка воздуха за  $i$ -ой поверхностью по ходу движения дымовых газов после топки определится как

$$\alpha_i = \alpha_T + \sum_1^i \Delta\alpha_i,$$

где  $\Delta\alpha_i$  – присосы воздуха в  $i$ -ой поверхности нагрева.

2.7.1. Избыток воздуха за ширмовым пароперегревателем

$$\alpha_{\text{шпп}}'' = \alpha_T'' + \Delta\alpha_{\text{шпп}}$$

2.7.2. Избыток воздуха за конвективным пароперегревателем 2 ступени

$$\alpha_{\text{кпп}_2}'' = \alpha_{\text{шпп}}'' + \Delta\alpha_{\text{кпп}_2}$$

2.7.3. Избыток воздуха за конвективным пароперегревателем 1 ступени

$$\alpha_{\text{кпп}_1}'' = \alpha_{\text{кпп}_2}'' + \Delta\alpha_{\text{кпп}_1}$$

2.7.4. Избыток воздуха за второй ступенью водяного экономайзера

$$\alpha_{\text{ЭК}_2}'' = \alpha_{\text{кпп}_1}'' + \Delta\alpha_{\text{ЭК}_2}$$

2.7.5. Избыток воздуха за второй ступенью воздухоподогревателя

$$\alpha''_{вп2} = \alpha''_{эк2} + \Delta\alpha_{вп2}.$$

2.7.6. Избыток воздуха за первой ступенью водяного экономайзера

$$\alpha''_{эк1} = \alpha''_{вп2} + \Delta\alpha_{эк1}.$$

2.7.7. Избыток воздуха за первой ступенью воздухоподогревателя

$$\alpha_{вп1} = \alpha_{ух} = \alpha''_{эк1} + \Delta\alpha_{вп1}.$$

2.8 Средний коэффициент избытка воздуха в газоходе каждой поверхности нагрева

2.8.1 В газоходе ширмового пароперегревателя

$$\alpha_{шпп}^{ср} = (\alpha_t + \alpha''_{шпп})/2.$$

2.8.2 В газоходе конвективного пароперегревателя (2 ступень)

$$\alpha_{кпп2}^{ср} = (\alpha''_{шпп} + \alpha''_{кпп1})/2.$$

2.8.3 В газоходе конвективного пароперегревателя (1 ступень)

$$\alpha_{кпп1}^{ср} = (\alpha''_{кпп2} + \alpha''_{кпп1})/2.$$

2.8.4 В газоходе второй ступени водяного экономайзера

$$\alpha_{эк2}^{ср} = (\alpha''_{кпп1} + \alpha''_{эк2})/2.$$

2.8.5 В газоходе второй ступени воздухоподогревателя

$$\alpha_{вп2}^{ср} = (\alpha''_{эк2} + \alpha''_{вп2})/2.$$

2.8.6 В газоходе первой ступени водяного экономайзера

$$\alpha_{эк1}^{ср} = (\alpha''_{вп2} + \alpha''_{эк1})/2.$$

2.8.7 В газоходе первой ступени воздухоподогревателя

$$\alpha_{вп1}^{ср} = (\alpha''_{эк1} + \alpha''_{вп1})/2.$$

### 3 Энтальпия воздуха и продуктов сгорания

3.1 Энтальпия теоретически необходимого количества воздуха

$$I_{0.в} = V_{в}^0 (c_{\vartheta})_{в}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

3.2 Энтальпия теоретического объема дымовых газов

$$I_{0.г} = V_{\text{RO}_2} (c_{\vartheta})_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 (c_{\vartheta})_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 (c_{\vartheta})_{\text{H}_2\text{O}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

3.3 Энтальпия дымовых газов

$$I = I_{0.г} + (\alpha_i'' - 1)I_{0.в} + I_{зл}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

3.4 Энтальпия золы в дымовых газах

$$I_{зл} = (c_{\vartheta})_{зл} \frac{A^p}{100} a_{уh}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$



Если приведенная величина уноса золы  $\frac{a_{\text{ун}} A^p}{Q_{\text{н}}^p} \leq 1,4$ , то энтальпией золы при определении действительного объема продуктов сгорания можно пренебречь. При этом делается соответствующая запись в расчетно-пояснительной записке.

Значения энтальпий воздуха  $(c\vartheta)_{\text{в}}$ , углекислого газа  $(c\vartheta)_{\text{CO}_2}$ , азота  $(c\vartheta)_{\text{N}_2}$ , водяных паров  $(c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}$  и золы  $(c\vartheta)_{\text{зл}}$ , необходимые для расчета  $I_{0,\text{в}}$ ,  $I_{0,\text{г}}$ ,  $I_{\text{зл}}$  берутся по нормам [1] или из Приложения 3.

Поскольку энтальпии воздуха и продуктов сгорания определяются температурами, то они подсчитываются при различных температурах в диапазоне от 100 °С до 2500 °С, а результаты оформляются в виде таблицы, указанной в Приложении 4.

## 4 Тепловой баланс котла

Составление теплового баланса котла заключается в установлении равенства между поступившим в котел количеством тепла и суммой полезно использованного тепла  $Q_1$  и тепловых потерь  $Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6$ . На основании теплового баланса вычисляются КПД и необходимый расход топлива.

Тепловой баланс составляется применительно к установившемуся тепловому состоянию котла на 1 кг твердого (жидкого) или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива при 0 °С и 101,3 кПа.

Общее уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_p + Q_{\text{в.вн}} + Q_{\text{ф}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6.$$

### 4.1 Температура рабочего топлива

$$t_{\text{тл}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

### 4.2 Теплоемкость рабочего топлива

$$c_{\text{тл}} = 4,19 \frac{W^p}{100} + c_{\text{тл}}^d \frac{100 - W^p}{100}, \frac{\text{кДж}}{\text{кгК}},$$

где  $c_{\text{тл}}^d$  – теплоемкость сухой массы топлива,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  (Приложение 5).

### 4.3 Физическое тепло топлива

$$i_{\text{тл}} = c_{\text{тл}} t_{\text{тл}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кгК}}.$$

### 4.4 Тепло, вносимое воздухом, при его подогреве вне котла

$$Q_{\text{в.вн}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

При отсутствии специальных указаний в задании подогрев воздуха не предусматривается, т. е.  $Q_{в.вн} = 0$ . В случае необходимости в подогреве воздуха расчет  $Q_{в.вн}$  ведется согласно формуле 5-20 [1].

4.5 Тепло, вносимое в топку паровым форсуночным дутьем

$$Q_{\phi}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

В курсовом проекте учитывается только при сжигании мазута с применением форсунок, использующих пар в качестве распыливающей среды. При этом расчет  $Q_{\phi}$  ведется согласно формуле 5-21 [1]. В остальных случаях  $Q_{\phi} = 0$

$$Q_{\phi} = 0 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

4.6 Располагаемое тепло рабочей массы топлива

$$Q_p = Q_H^p + i_{\text{тл}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

4.7 Потеря тепла от механической неполноты сгорания  $q_4$  (Приложение 6).

4.8 Определение потерь тепла с уходящими газами  $q_2$

4.8.1 Энтальпия уходящих газов при избытке воздуха  $\alpha_{yx} = \alpha''_{вп1}$  и температуре  $\vartheta_{yx}$

$$I_{yx}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ (по I-9 таблице).}$$

4.8.2 Температура холодного воздуха

$$t_{xb} = 30 \text{ }^\circ\text{C}, [1].$$

4.8.3 Энтальпия холодного воздуха

$$I_{xb}^0, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ (по I-9 таблице).}$$

4.8.4 Присосы воздуха в систему пылеприготовления (Приложение 5).

4.8.5 Присосы воздуха в топку (для газоплотных экранов)

$$\Delta\alpha_t = 0,02 [1].$$

4.8.6 Отношение количества воздуха на входе в воздушный тракт к теоретически необходимому

$$\beta' = \alpha''_t - \Delta\alpha_t - \Delta\alpha_{пл} + \Delta\alpha_{вп1} + \Delta\alpha_{вп2}.$$

4.8.7 Доля газов, отбираемых на сушку топлива

$$r = \frac{V_{отб}^H}{V_{г.отб}^H}, \text{ (При сушке воздухом } r=0, [1]).$$

4.8.8 Энтальпия газов в месте отбора (при сушке воздухом  $I_{отб}=0, [1]$ )

$$I_{отб}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ (по I-9 таблице).}$$

4.8.9 Потери тепла с уходящими газами

$$q_2 = \frac{[I_{yx} - (\alpha_{yx} - \beta') \cdot I_{прс}^0 - \beta' \cdot I_{хв}] \cdot (100 - q_4)}{Q_p}, \%$$

4.9 Потеря тепла от химической неполноты сгорания  $q_3$  (для твердого топлива  $q_3 = 0\%$ , [1, табл. XVIII]).

4.10 Потеря тепла от наружного охлаждения  $q_5$  (Приложение 5).

4.11 Определение потери с теплом шлака  $q_6$

4.11.1 Температура золы шлака

- при ТШУ  $t_{шл} = 600$  °С;
- при ЖШУ  $t_{шл} = t_{нж}$  (при отсутствии данных по  $t_{нж}$  температуре золы шлака принимается  $t_{шл} = t_c + 100$  °С).

4.11.2 Энтальпия золы шлака  $(c\mathcal{G})_{зл}$  определяется по Приложению 3.

4.11.3 Доля золы топлива в шлаке

$$a_{шл} = 1 - a_{ун}.$$

4.11.4 Потеря с теплом шлака  $q_6$

$$q_6 = \frac{a_{шл} (c\mathcal{G})_{зл} A^p}{Q^p}, \%$$

4.12 Суммарная потеря тепла в котле

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \%$$

4.13 Коэффициент полезного действия котла

$$\eta_k = 100 - \sum q, \%$$

## 5 Определение расхода топлива

5.1 Паропроизводительность  $D_{пп}$ ,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$  (по заданию).

5.2 Температура перегретого пара  $t_{пп}$ , °С (по заданию).

5.3 Давление перегретого пара  $P_{пп}$ , МПа (по заданию).

5.4 Энтальпия перегретого пара  $i_{пп}$ ,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ , (определяется по  $P_{пп}$  и  $t_{пп}$  в таблицах для перегретого пара при докритическом давлении).

5.5 Температура питательной воды  $t_{пв}$ , °С (по заданию).

5.6 Давление в барабане  $P_6$ , МПа (по заданию).

5.7 Давление питательной воды на входе в экономайзер

$$P_{пв} = P_6 + 0,1P_6, \text{ МПа.}$$

5.8 Энтальпия питательной воды  $i_{пв}$ ,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  (определяется в таблицах удельных объемов и энтальпий воды по  $t_{пв}$  и  $P_{пв}$ ).

5.9 Величина непрерывной продувки  $p$ , % (по заданию).

5.10 Расход воды на продувку

$$D_{пр} = \frac{p}{100} D_{пп}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

5.11 Энтальпия продувочной воды  $i'_s$ ,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  (определяется для состояния кипения по давлению в барабане  $P_6$  из таблиц воды и сухого насыщенного пара на кривой насыщения).

*Примечание:* В таблице XXIII [1] величина  $i'_s$  обозначена как  $i'$ .

5.12 Полное количество тепла, полезно использованное в котле

$$Q_k = (D_{пп} - D_{обв})(i_{пп} - i_{пв}) + D_{обв}(i_{пп} - i_{обв}) + \sum D_{впр}(i_{пв} - i_{впр}) + D_{пп}(i''_S + i_{пв}) + D_{пр}(i'_S - i_{пв}) + \sum D_{пп}(i''_{пп} - i'_{пп}) + \sum D_{впр}^{пп}(i''_{пп} - i_{впр}^{пп}) + Q_{от.в} + Q_{изб}, \text{ кВт},$$

где  $D_{обв}$  – расход питательной воды, подаваемой в котел мимо регенеративных подогревателей. (В курсовом проекте  $D_{обв} = 0$ , т. к. подача воды в котел помимо регенеративных подогревателей не предусмотрена);  $i_{обв}$  – энтальпия питательной воды, подаваемой в котел мимо регенеративных подогревателей. (В курсовом проекте  $i_{обв} = 0$ , т. к. подача воды в котел помимо регенеративных подогревателей не предусмотрена);  $\sum D_{впр}(i_{пв} - i_{впр})$  – учитывается только при впрыске в первичный тракт «сторонней» воды с энтальпией  $i_{впр}$  отличной от  $i_{пв}$  (В курсовом проекте  $\sum D_{впр}(i_{пв} - i_{впр}) = 0$ , т. к. впрыск не предусмотрен);  $D_{пп}$  – количество насыщенного пара отданного до перегревателя. (В курсовом проекте  $D_{пп} = 0$ , т. к. отбор насыщенного пара до перегревателя не предусмотрен);  $D_{пп}$  – расходы пара на входе в промежуточные пароперегреватели с начальной  $i'_{пп}$  и конечной  $i''_{пп}$  энтальпией. (В курсовом проекте  $D_{пп} = 0$ , т. к. промежуточный перегрев пара не предусмотрен);  $D_{впр}^{пп}$  – расходы впрысков в промперегреватели. (В курсовом проекте  $D_{впр}^{пп} = 0$ );  $Q_{от.в}$  – тепло воды, подогреваемой в котле и отдаваемой «на сторону». (В курсовом проекте  $Q_{от.в} = 0$ , т. к. отпуск воды «на сторону» не предусмотрен);  $Q_{изб}$  – тепло избыточного («отдаваемого на сторону») воздуха. (В курсовом проекте  $Q_{изб} = 0$ , т. к. отпуск воздуха «на сторону» не предусмотрен).

После принятых упрощений формула определения полного количества тепла, полезно использованного в котле принимает вид:

$$Q_k = D_{пе} (i_{пп} - i_{пв}) + D_{пр} (i'_S - i_{пв}), \text{ кВт.}$$

5.13 Расход топлива, подаваемого в топку

$$B = \frac{Q_k}{\frac{Q_p \eta_k}{100} + Q_{в.вн.} + Q_{ф}}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

5.14 Расчетный расход топлива

$$B_p = B \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

В дальнейшем во все формулы для определения объемов и количеств тепла подставляется величина  $B_p$ .

### Список литературы

1. Тепловой расчет котлов: (Нормативный метод). 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. Фурсов И.Д. Конструирование и тепловой расчет паровых котлов / Фурсов И.Д., Коновалов В.В. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2001. – 266 с.
3. Липов Ю.М. Котельные установки и парогенераторы : учебник / Липов Ю.М., Третьяков Ю.М. – 2-е изд., испр. – М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. – 592 с.
4. Карякин С.К. Котельные установки и парогенераторы. Основы и методика теплового расчета котлов : учебное пособие / Карякин С.К. – Томск : Изд-во ТПУ, 2010. – 156 с.
5. Карякин С.К. Котельные установки и парогенераторы. Курсовое проектирование : учебно-методическое пособие / Карякин С.К.; Томский политехнический университет (ТПУ), Институт дистанционного образования (ИДО). – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 128 с.
6. Карякин С.К. Котельные установки и парогенераторы. Тепловой расчет котлов : учебное пособие / Карякин С.К. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 156 с.

Приложение 1

Объемы газов, объемные доли трехатомных газов, концентрация золы

Расчетные величины	размерность	$V_B^0 = ; V_{N_2}^0 = ; V_{RO_2} = ; V_{H_2O}^0 = ; A^p =$ $a_{yH} =$					
		газоходы котла					
		топка и ширмы	конвективный пароперегреватель		Экономайзер 2 ступень	Воздухоподогреватель 2 ступень	Экономайзер 1 ступень
2 ступень	1 ступень						
Коэффициент избытка воздуха за поверхностью $\alpha_i''$	—						
Средний коэффициент избытка воздуха в газоходе $\alpha_i^{cp}$	—						
Произведение $(\alpha_i^{cp} - 1)V_B^0$	—						
Объем водяных паров $V_{H_2O}^H = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha_i^{cp} - 1)V_B^0$	$\frac{M^3}{кг}$						
Полный объем дым. газов $V_{\Gamma}^H = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 + (\alpha_i^{cp} - 1)V_B^0$	$\frac{M^3}{кг}$						
Объемная доля сухих трехатомных газов $r_{RO_2} = V_{RO_2} / V_{\Gamma}^H$	—						
Объемная доля водяных паров $r_{H_2O} = V_{H_2O}^H / V_{\Gamma}^H$	—						
Суммарная объемная доля трехатомных газов $r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$	—						
Масса дымовых газов $G_{\Gamma} = 1 - \frac{A^p}{100} + 1,306 \alpha_i^{cp} \cdot V_B^0$	$\frac{кг}{кг}$						
Концентрация золы в дымовых газах $\mu_{зп} = \frac{A^p \cdot a_{yH}}{100 \cdot G_{\Gamma}}$	$\frac{кг}{кг}$						

*Коэффициент избытка воздуха за топкой для камерных пылеугольных топок производительностью более 45 кг/с*

<b>Топливо</b>	<b>Тип топки</b>	$\alpha''_T$
Тощие угли	ТШУ	1,2–1,25*
	ЖШУ–открытая	1,2–1,25*
	ЖШУ–полуоткрытая	1,2–1,25*
Каменные угли	ТШУ	1,15–1,2*
	ЖШУ–открытая	1,15–1,2*
	ЖШУ–полуоткрытая	1,15–1,2*
Бурые угли	ТШУ	1,2–1,25*
	ЖШУ–открытая	1,15–1,2*
	ЖШУ–полуоткрытая	1,15–1,2*

\* – меньшее значение для топок с газоплотными экранами

*Присосы воздуха для отдельных элементов газового тракта*

<b>Элементы газового тракта</b>	$\Delta\alpha_i$
Фестон, ширмовый пароперегреватель	0
Конвективный пароперегреватель	0,03
Водяной экономайзер стальной (на каждую ступень)	0,02
Воздухоподогреватель трубчатый (на каждую ступень)	0,03

Удельные энтальпии газов и золы

Расчетная температура дымовых газов	Удельные энтальпии (с <sub>9</sub> )				
	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Воздух	Зола
	$\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$				$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
1	2	3	4	5	6
100	171,7	130,1	150,5	132,7	80,8
200	360,0	261,0	304,0	267,0	169,1
300	563	394	463	403	264
400	776	529	626	542	360
500	999	667	795	685	458
600	1231	808	969	830	560
700	1469	952	1149	979	662
800	1712	1098	1334	1129	767
900	1961	1247	1526	1283	875
1000	2213	1398	1723	1438	984
1100	2458	1551	1925	1595	1097
1200	2717	1705	2132	1754	1206
1300	2977	1853	2344	1914	1361
1400	3239	2009	2559	2076	1583
1500	3503	2166	2779	2239	1759
1600	3769	2324	3002	2403	1876
1700	4036	2484	3229	2567	2064
1800	4305	2644	3458	2732	2186
1900	4574	2804	3690	2899	2387
2000	4844	2965	3926	3066	2512
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	—



Приложение 4

Сводная таблица результатов для отдельных газоходов (I – 9 таблица)

t, °C	I <sub>0.г</sub> , кДж/кг	I <sub>0.в</sub> , кДж/кг	I <sub>зп</sub> , кДж/кг	I = I <sub>0.г</sub> + (α <sub>i</sub> <sup>''</sup> - 1)I <sub>0.в</sub> + I <sub>зп</sub> , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$													
				Топка и ШПП		КПП <sub>2</sub>		КПП <sub>1</sub>		ЭК <sub>2</sub>		ВП <sub>2</sub>		ЭК <sub>1</sub>		ВП <sub>1</sub>	
				α <sub>Г</sub> <sup>''</sup>		α <sub>КПП<sub>2</sub></sub> <sup>''</sup>		α <sub>КПП<sub>1</sub></sub> <sup>''</sup>		α <sub>ЭК<sub>2</sub></sub> <sup>''</sup>		α <sub>ВП<sub>2</sub></sub> <sup>''</sup>		α <sub>ЭК<sub>1</sub></sub> <sup>''</sup>		α <sub>ВП<sub>1</sub></sub> <sup>''</sup>	
				I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
100																	
200																	
300																	
400																	
500																	
600																	
700																	
800																	
900																	
1000																	
1100																	
1200																	
1400																	
1600																	
1800																	
2000																	
2200																	
2300																	
2400																	
2500																	

Примечание:

 – обязательный для заполнения интервал.

*Теплоемкость сухой массы топлива*

Топливо	Теплоемкость сухой массы топлива $c_{\text{ТЛ}}^d, \frac{\text{кДж}}{\text{кгК}}$	
	0 °С	100 °С
Антрацит и тощий уголь	0,92	0,96
Каменный уголь	0,96	1,09
Бурый уголь	1,09	1,26
Сланцы	1,05	1,13
Фрезерный торф	1,30	1,51

*Присосы воздуха в систему пылеприготовления*

	$\Delta\alpha_{\text{пл}}$
<b>СПП с бункером пыли под разряжением</b>	
ШБМ при сушке горячим воздухом	0,1
ШБМ при сушке смесью воздуха и дымовых газов	0,12
ММ при сушке смесью воздуха и дымовых газов	0,06
<b>СПП с горячим вдуванием пыли в топку при работе под разряжением</b>	
Молотковые мельницы	0,04
Среднеходные мельницы	0,04
Мельницы-вентиляторы	0,2–0,25*
<b>СПП с горячим вдуванием пыли в топку при работе под давлением</b>	
Молотковые мельницы	0
Среднеходные мельницы	0

\* – меньшие значения для топок с газоплотными экранами.

*Потеря тепла от наружного охлаждения*

<b>Паропроизводительность <math>D, \frac{\text{кг}}{\text{с}}</math></b>	<b>20,8</b>	<b>27,8</b>	<b>55,56</b>	<b>83,33</b>	<b>111,11</b>	<b>138,89</b>
$q_s, \%$	0,78	0,7	0,6	0,5	0,4	0,35

Приложение 6

*Потеря тепла от механической неполноты сгорания для топок с ТШУ*

Топливо	$q_4, \%$
Антрацитовый штыб	7–8
Тощие угли	5
Каменные угли	1–1,5*
Отходы углеобогащения	2–3*
Бурые угли:	
малозольные с $A_{\text{пр}}^p \leq 1 \frac{\text{кг}\%}{\text{МДж}}$ ,	0,5
многозольные с $A_{\text{пр}}^p > 1 \frac{\text{кг}\%}{\text{МДж}}$	1–2*
Фрезерный торф	0,5–1,0
Сланцы	0,5

\* – меньшие значения для малозольных топлив с  $A_{\text{пр}}^p \leq 1,4 \frac{\text{кг}\%}{\text{МДж}}$ .

*Потеря тепла от механической неполноты сгорания для топок с ЖШУ*

Топливо	$q_4, \%$
Открытые топки	
Антрацитовый штыб	6
Тощие угли	4
Каменные угли	0,5
Бурые угли	0,3
Полуоткрытые топки	
Антрацитовый штыб	5
Тощие угли	4
Каменные угли	0,5
Бурые угли	0,3

Учебное издание

# РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВ, ОБЪЕМОВ И ЭНТАЛЬПИЙ ВОЗДУХА И ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Методические указания к выполнению курсовой работы  
по дисциплинам «Технологические процессы и производства ТЭС и АЭС»,  
«Котельные установки и парогенераторы» для студентов III–IV курсов,  
обучающихся по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»

*Составители*

ТАЙЛАШЕВА Татьяна Сергеевна  
ВИЗГАВЛЮСТ Наталья Викторовна  
БУВАКОВ Константин Владимирович

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати . Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. .

Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru