УДК 662.613

О.С. ПОПКОВА, к.т.н., доцент (КГЭУ)
А.И. ФАЙЗУЛЛИНА, магистрант (КГЭУ)
г. Казань

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ГОРЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В УСТРОЙСТВАХ СОВРЕМЕННОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ

На условия работы, а также на энергетические и экономические показатели современных теплотехнических установок оказывают влияние состав продуктов сгорания. При их расчетах не учитываются некоторые вещества, образующиеся в небольшом количестве не оказывающие влияние на режим работы, но изменяющие экологические показатели различных печей, топок и других устройств современной теплотехники.

Экологически вредными веществами являются токсичные газы, оказывающие негативное влияние на человека и окружающую среду, такие как оксиды азота, оксид углерода, различные углеводороды, соединения содержащие свинец и сажу.

Горение топлива невозможно без достаточного количества кислорода. Для осуществления эффективного горения топлива необходимо

1. определить расход воздуха на горение топлива;
2. состав дымовых газов;
3. температуру дымовых газов.

Рассмотрим первый этап. Для определения расхода кислорода составляют реакции окисления отдельных компонентов горючих частей топлива, рассчитывают стехиометрические коэффициенты, учитывают молекулярные и атомные массы. Для случая горения жидкого топлива основанием расчетов являются соотношения массы веществ.

Отношение действительного расхода воздуха $G_д$ к теоретическому $G_т$называют коэффициентом избытка воздуха и обозначают буквой α[1]*:*

$$\alpha = G_д / G_м \quad (1)$$

Значение коэффициента избытка воздуха определяется видом топлива и характеристиками устройства, для сжигания топлива. У газового топлива наилучшая полнота смешения с воздухом, и как следствие, газовое топливогорит с минимальным избытком воздуха: α=1,05…1,1.Для улучшения процесса горения мазут перед подачей в топку распыляют специальными форсунками для увеличения поверхности взаимодействия капель с воздухом, но даже при организации хорошего распыливания, из-

за характеристик мазута не удается достигнуть идеального смешения с воздухом. По литературным данным коэффициент избытка воздуха, необходимый для горения мазута, составляет α= 1,1…1,2 [3].

На втором этапе необходимо определить количество и состав дымовых газов, образующихся в результате горения мазута. Для этого также используются уравнения горения частей топлива с кислородом воздуха, с определением стехиометрических коэффициентов, учитывается закон равенства массы реагирующих веществ и продуктов сгорания. При расчете состава дымовых газов учитывается избыточный кислород, азот, избыточная влажность.

На третьем этапе определяется температура горения топлива и избыток воздуха.При горении топлива в дымовых газах вместе с CO_2и H_2O образуются продукты неполного сгорания CO и H_2, из-за неполной степени окисления, и вследствие этого, понижаются тепловые эффекты процесса горения. Также потери тепла образуются от химического недожога топлива и теплопередачи тепла через ограждающие конструкции топочного устройства [з].

Часть тепла передается излучением нагреваемому материалу, обходя дымовые газы, и поэтому температура дымовых газов всегда меньше теоретической калометрической температуры $t_{\text{к}}$ и температуры горения.

Все факторы, определяющие понижение теоретической температуры горения топлива при его сжигании в котельных и промышленных тепловых установках, учитывают калориметрическим коэффициентом $\eta_{\text{к}}$.

$$t_{\text{п}} = t_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{к}} \qquad (2)$$

В зависимости от степени экранирования поверхности нагрева котла значения$\eta_{\text{к}}$ для топок паровых котлов колеблется в пределах 0,15…0,5.

Для инженерных расчетов калометрическую температуру горения топлива можно определить из уравнения теплового баланса горения 1кг жидкого топлива:

$$Q_{\text{н}}^{p} + V_{\text{в}}^{0} \cdot C_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}} \cdot \alpha + \text{C}_m t_m = V_{\text{д}}^{0} \cdot C_{\text{д}} \cdot t_k \cdot \alpha \qquad (3)$$

где $Q^{\text{р}}_{\text{н}}$ – низшая теплотворность топлива, кДж/кг; $V^{\text{о}}_{\text{в}}$–теоретический расход воздуха на горение1кг топлива, м^3/кг; $C_{\text{в}}$ – теплоемкость воздуха, $C_{\text{в}}$=1,3 кДж/м^3 С; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха, поступающего на горение топлива, С; $t_{\text{т}}$ – температура топлива, поступающего на горение; $C_{\text{т}}$ – теплоемкость топлива; $V^{o}_{\text{д}}$– теоретическое количество продуктов горения от сжигания 1кг топлива, нм^3/кг; $C_{\text{д}}$ – теплоемкость дымовых газов.

Для приблизительных расчетов теплоемкости можно использовать приближенными зависимости теплоемкости от температуры [1]:

$$C_{\text{д}} = 0{,}25 + 0{,}000014 t_{\text{д}} \quad (4)$$

$$C_{\text{д}} = 0{,}323 + 0{,}000018 t_{\text{д}} \quad (5)$$

где $t_{\text{д}}$–температура продуктов горения (дымовые газы), С.

В существующих теплотехнических установках перед сжиганием подогревают только мазут. Уравнение (3) с использованием зависимостей (4) и (5) решают методом последовательного приближения для определения калориметрической температуры.

С помощью уравнения (3) можно решать две задачи:

1. определение необходимого избытка воздуха. В этом случае по данной практической температуре в печи $t_{\text{п}}$ по уравнению (2) рассчитывается калометрическая температура $t_{\text{к}}$, затем решается уравнение (3) относительно α.
2. Определение температуры пламени $t_{\text{п}}$. По заданному коэффициенту избытка воздуха, в зависимости от вида топлива и топочного устройства, из уравнений (2) и (3) находится температура пламени $t_{\text{п}}$.

Рассмотрев уравнение (3) можно определить способы повышения калориметрической температуры $t_{\text{к}}$. Этими способами являются снижение избытка воздуха, а также предварительный его подогрев. Также по уравнению (3) видно, что повышение практической температуры горения возможно, в основном за счет снижения тепловых потерь.

Рассмотрим расчет горения природного газа

Исходными данными являются:

1. Объемный состав газа (по справочным данным), (%): CH_4 – 95,5; C_2H_6 –0,8; C_3H_8 – 0,4; C_4H_{10} – 0,08; C_5H_{12} – 0,00; CO_2 – 0,22; N_2 – 3,0. Всего 100 %.

2. Влагосодержание воздуха, согласно климатологическим таблицам*H-d*-диаграмме,составляет *d*=10г на1кг сухого воздуха.

3.Природный газ сжигается во вращающейся керамзитообжигательной печи. Требуемая температура обжига $t_{\text{п}}$ =1150 °С.

Задачей работы является определить: количество, влагосодержание, энтальпию дымовых газов и расход воздуха на горение топлива.

Необходимый коэффициент избытка воздуха определяют из уравнения теплового баланса процесса горения (3) на 1м^3 газа по формуле:

$$Q_{\text{н}}^{p} + V_{\text{в}}^{0} \cdot C_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}} \cdot \alpha + \text{C}_m t_m = V_{\text{д}}^{0} \cdot C_{\text{д}} \cdot t_{\text{к}} \cdot \alpha \quad (1.1)$$

где $Q^{р}_{н}$ – низшая теплота сгорания рабочего топлива газа, $Q^{р}_{н}$=36400 кДж/м^3; $V^{o}_{в}$ – теоретический расход воздуха, м^3 , $V^{o}_{в}$=9,498 м^3/м^3; $C_{в}$ – объемная теплоемкость воздуха, $C_{в}$=1,3 кДж/м^3 С; $t_{в}$и $t_{т}$– температура соответственно воздуха и природного газа, поступающего на горение $t_{в}$ и $t_{т}$, принимаем равными 10 С; $C_{т}$– объемная теплоемкость газового топлива колеблется в пределах 1,55…1,72 кДж/м^3 С, принимаем $C_{т}$=1,7 кДж/м^3 С; $V^{o}_{д}$ – теоретическое количество продуктов горения от сжигания 1м^3 газового топлива,$V^{o}_{д}$=10,5 м^3/м^3; $t_{к}$ – калориметрическая температура горения, С;

$$t_k = t_{П}/\eta_k \tag{1.2}$$

где $t_{п}$ – требуемая практическая температура горения, назначаемая по условиям технологии (задана $t_{п}$=1150 С); $\eta_{К}$ – калориметрический коэффициент процесса горения (коэффициент прямой отдачи). Для вращающихся печей по опытным данным $\eta_{К}$=0,8; $C_{д}$ – объемная теплоемкость продуктов горения (дымовых газов). Объемная теплоемкость рассчитывается как средневзвешенная теплоемкость газовой смеси известным формулам термодинамики.

Для приблизительных инженерных расчетов объемной теплоемкости продуктов горения(кДж/м^3 С) возможноиспользовать приближенную формулу[1]:

$$C_{д} = 0{,}335 + 0{,}0000755 t_{д} \tag{3.3}$$

Тогда$t_{К} = \frac{1150}{0{,}8} = 1437{,}5$ ℃ .

Если допустить, что$t_{д}$=$t_{к}$, тогда

$$C_{д} = 0{,}335 + 0{,}0000755 \cdot 1437{,}5 = 1{,}464 \text{ кДж/(м}^3\cdot\text{С)}$$

Из уравнения (1.1):

$$\alpha = \frac{Q^{р}_{н} + t_{Т}\cdot C_{Т}}{V^{0}_{д}\cdot C_{д}\cdot t_k - V^{0}_{в}\cdot C_{в}\cdot t_{в}} = \frac{36400+10\cdot 1{,}7}{10{,}7\cdot 1437{,}5\cdot 1{,}464 - 9{,}50\cdot 1{,}3\cdot 10} = 1{,}6 \tag{1.4}$$

$$100\cdot V_{в} = 100\cdot V^{0}_{в}\cdot\alpha = 949{,}83\cdot 1{,}6 = 1519{,}73 \text{ м}^3 \tag{1.5}$$

По справочным данным плотности газов (кг/м^3) составляют: ρ_{CO2}=1,977; ρ_{H2O}=0,805; ρ_{O2}=1,43; ρ_{N2}=1,25[1].

Влагосодержание дымовых газов на 1кг сухого воздуха рассчитываем по формуле:

$$d_{\text{д}} = G_{\text{H2O}} / L_{\text{сд}} \quad (1.6)$$

где G_{H2O}– масса водяных паров в дымовых газах, отнесенная к 1м^3 топлива, в нашем случае равная 1,754кг/м^3; $L_{\text{сд}}$ – масса сухих дымовых газов от сжигания 1м^3 топлива,$L_{\text{сд}}$=18,43 кг;

В результате расчетов получим, $d_{\text{д}} = \frac{1{,}766 \cdot 1000}{18{,}43} = 95.8$ г. для 1 кг сухих дымовых газов.

Энтальпию продуктов горения, отнесенную к 1кг сухих дымовых газов, определяют по формуле:

$$H_{\text{д}} = \frac{Q_{\text{н}}^{p} + V_{\text{в}}^{0} \cdot C_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}} \cdot \alpha + \text{C}_{\text{т}} t_{\text{т}}}{L_{\text{сд}}} \quad (1.7)$$

$$V_{\text{в}}^{0} \cdot \alpha = 15{,}2 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Тогда$H_{\text{д}} = \frac{36400 + 10 \cdot 1{,}7 + 15{,}2 \cdot 1{,}3 \cdot 10}{18{,}44} = 1990$ кДж/кг

Список литературы:

1. Михайловский В. П., Мартемьянова Э. Н., Ушаков В. В. Расчеты горения топлив, температурных полей и тепловых установок технологии бетонных и железобетонных изделий. Учебное пособие, – 2011. 264 – с.
2. Гущин С. Н. Расчеты горения топлив. – Книга. –1995. 48 – с.
3. Равич М. Б. Эффективность использования топлива. – Книга. – 1977. 344 – с.