

1.1. СОСТАВ ТОПЛИВА

Основные зависимости и расчетные формулы. Пересчет элементного состава одной массы топлива на другую производится при помощи коэффициентов, приведенных в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Заданная масса топлива	Искомая масса топлива		
	рабочая	сухая	горючая
Рабочая	1	$\frac{100}{100 - W^p}$	$\frac{100}{100 - W^p - A^p}$
Сухая	$\frac{100 - W^p}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^c}$
Горючая	$\frac{100 - W^p - A^p}{100}$	$\frac{100 - A^c}{100}$	1

Если топливо (сланцы) содержит большое количество карбонатов (более 2%), то коэффициент пересчета принимается с учетом разложения карбонатов. В этом случае за горючую массу принимают

$$G = 100 - W^p - A_{\text{испр}} - (\text{CO}_2)_k, \quad (1.1)$$

где $(\text{CO}_2)_k$ — содержание углекислоты карбонатов, %; $A_{\text{испр}}$ — зольность топлива за вычетом сульфатов, образовавшихся при разложении карбонатов с поправкой на сгорание колчеданной серы:

$$A_{\text{испр}} = A^p - A_c \left(1 - \frac{W^p}{100} \right). \quad (1.2)$$

Поправку A_c принимают равной для эстонских и гдовских сланцев 2,0; кашпирских 4,1.

Пересчет элементного состава рабочей массы топлива с влажностью W_1^p на массу с влажностью W_2^p производится умножением исходных составляющих на множитель $\frac{100 - W_2^p}{100 - W_1^p}$. То же самое имеет место при изменении зольности

топлива A_1 до A_2 : $\frac{100 - A_2}{100 - A_1}$.

ПРИМЕРЫ

Пример 1.1. При лабораторных исследованиях был получен элементный состав кузнецкого угля марки СС на горючую массу: $C^r = 84,0\%$; $H^r = 4,5\%$; $N^r = 2,0\%$; $O^r = 9\%$; $S^r = 0,5\%$. Влажность и зольность на рабочую массу равны $W^p = 12,0\%$ и $A^p = 11,4\%$. Определить элементный состав на рабочую массу топлива.

Решение. Для пересчета с горючей массы на рабочую используем коэффициент пересчета

$$K = \frac{100 - W^p - A^p}{100} = \frac{100 - 12,0 - 11,4}{100} = 0,766.$$

Тогда:

$$C^p = C^r K = 84,0 \cdot 0,766 = 64,34\%;$$

$$H^p = H^r K = 4,5 \cdot 0,766 = 3,45\%;$$

$$N^p = N^r K = 2,0 \cdot 0,766 = 1,53\%;$$

$$O^p = O^r K = 9,0 \cdot 0,766 = 6,90\%;$$

$$S^p = S^r K = 0,5 \cdot 0,766 = 0,38\%.$$

Проверка: Суммарный элементный состав топлива на рабочую массу

$$64,34 + 3,45 + 1,53 + 6,90 + 0,38 + 12,0 + 11,40 = 100\%.$$

Пример 1.2. Задан следующий элементный состав на горючую массу кузнецкого угля марки СС ухудшенного состава: $C^r = 80,2\%$; $H^r = 3,3\%$; $N^r = 2,1\%$; $O^r = 14\%$; $S^r = 0,4\%$. Известно, что зольность сухой массы $A^c = 22,12\%$. Определить элементный состав топлива на рабочую массу при $W^p = 15,0\%$.

Решение. В соответствии с табл. 1.1 коэффициент пересчета масс имеет вид $\frac{100 - W^p - A^p}{100}$. Для его использования пересчитаем зольность с сухой массы на рабочую:

$$A^p = A^c \frac{100 - W^p}{100} = 22,12 \frac{100 - 15,0}{100} = 18,80\%.$$

Тогда

$$K = \frac{100 - W^p - A^p}{100} = \frac{100 - 15,0 - 18,8}{100} = 0,662.$$

Определяем элементный состав на рабочую массу:

$$C^P = C^r K = 80,2 \cdot 0,662 = 53,09\%;$$

$$O^P = O^r K = 14,0 \cdot 0,662 = 9,27\%;$$

$$H^P = H^r K = 3,3 \cdot 0,662 = 2,18\%;$$

$$N^P = N^r K = 2,1 \cdot 0,662 = 1,39\%;$$

$$S^P = S^r K = 0,4 \cdot 0,662 = 0,27\%.$$

Проверяем полный элементный состав рабочей массы
 $C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + W^P = 53,09 + 2,18 + 9,27 + 1,39 + 0,27 + 18,8 + 15,0 = 100\%$.

ЗАДАЧИ

Задача 1.1. Сушка березовского угля с составом рабочей массы: $W^P = 33\%$; $A^P = 4,7\%$; $S^P = 0,2\%$; $C^P = 44,3\%$; $H^P = 3,0\%$; $N^P = 0,4\%$; $O^P = 14,4\%$ производится при разомкнутой схеме. Определить состав рабочей массы подсушенного до $W^P = 10,0\%$ топлива.

Задача 1.2. Содержание углерода в рабочей массе экибастузского угля составляет $C^P = 43,4\%$ при $W^P = 7\%$ и $A^P = 38,1\%$. Определить содержание углерода в сухой массе при увеличении рабочей зольности топлива до $A^P = 45,0\%$.

Задача 1.3. Определить состав горючей массы нерюнгринского угля, если известен состав рабочей массы: $W^P = 9,5\%$; $A^P = 12,7\%$; $S^P = 0,2\%$; $C^P = 66,1\%$; $H^P = 3,3\%$; $N^P = 0,7\%$; $O^P = 7,5\%$.

Задача 1.4. Определить рабочий состав эстонских сланцев, если известен элементный состав горючей массы: $S^r = 5,25\%$; $C^r = 72,13\%$; $H^r = 10,16\%$; $N^r = 0,33\%$; $O^r = 12,13\%$. Рабочая масса имеет: $W^P = 13,0\%$; $(CO_2)^P_r = 16,5\%$; $A^P = 40,0\%$.

1.2. ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

Низшая и высшая теплота сгорания, кДж/кг, связаны зависимостью

$$Q_H = Q_B - 25,1(9H + W). \quad (1.3)$$

Пересчет теплот сгорания топлива:

$$Q_H^P = Q_B^P - 25,1(9H^P + W^P); \quad (1.4)$$

$$Q_H^c = Q_B^c - 226 H^c; \quad (1.5)$$

$$Q_H^r = Q_B^r - 226 H^r; \quad (1.6)$$

$$Q_H^P = Q_H^c \frac{100 - W^P}{100} - 25,1 W^P; \quad (1.7)$$

$$Q_H^P = Q_H^r \frac{100 - W^P - A^P}{100} - 25,1 W^P. \quad (1.8)$$

Здесь индексы «р», «с», «г» относятся к рабочей, сухой и горючей массам топлива.

При изменении влажности от W_1^p до W_2^p и зольности от A_1^p до A_2^p топлива для определения теплоты сгорания используются зависимости:

$$Q_{H2}^p = (Q_{H1}^p + 25,1 W_1^p) \frac{100 - W_2^p}{100 - W_1^p} - 25,1 W_2^p; \quad (1.9)$$

$$Q_{H2}^p = Q_{H1}^p \frac{100 - A_2^p}{100 - A_1^p}. \quad (1.10)$$

При одновременном изменении влажности и зольности

$$Q_{H2}^p = (Q_{H1}^p + 25,1 W_1^p) \frac{100 - W_2^p - A_2^p}{100 - W_1^p - A_1^p} - 25,1 W_2^p. \quad (1.11)$$

Для приближенных расчетов, а также для проверки элементного состава топлива (если задана Q_H^p) низшую теплоту сгорания, кДж/кг, определяют по формуле Менделеева:

$$Q_H^p = 339C^p + 1030H^p - 109(O^p - S^p) - 25,1 W^p; \quad (1.12)$$

$$Q_H^r = 339C^r + 1030H^r - 109(O^r - S^r). \quad (1.13)$$

Расхождение полученной Q_H^r с величиной, полученной в калориметрической бомбе, не должно превышать ± 628 кДж/кг для топлив с зольностью менее 25% и ± 837 кДж/кг — для других топлив.

Теплота сгорания газообразного топлива принимается по данным калориметрического анализа. При отсутствии таких данных теплота сгорания 1 м³ газа при нормальных условиях подсчитывается по формуле

$$Q_H^c = 0,01 [Q_{H_2S} H_2S + Q_{CO} CO + Q_{H_2} H_2 + \sum (Q_{C_m H_n} C_m H_n)], \quad (1.14)$$

где Q_{H_2S} , Q_{CO} и т. д. — теплота сгорания отдельных составляющих, входящих в состав газообразного топлива, кДж/м³; последние должны приниматься по [1] либо по теплотехническим справочникам.

При сжигании смеси двух твердых или жидких топлив, заданных массовыми долями (g' — массовая доля одного из топлив в смеси), теплота сгорания 1 кг смеси подсчитывается по формуле

$$Q_H^p = Q_H^{p'} g' + Q_H^{p''} (1 - g'). \quad (1.15)$$

Если же смесь задана в долях по тепловыделению каждого топлива (q' — доля одного из топлив), то для перехода к массовым долям используется зависимость

$$g' = \frac{q' Q_H^{p''}}{q' Q_H^{p''} + (1 - q') Q_H^{p'}}. \quad (1.16)$$

При сжигании смеси твердого или жидкого топлива с газообразным расчет ведется на 1 кг твердого или жидкого

топлива с учетом количества газа $x \text{ м}^3$, приходящегося на 1 кг твердого или жидкого топлива:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}'} + x Q_{\text{н}}^{\text{р}''}. \quad (1.17)$$

Если смесь задана в долях тепловыделения q' , то количество газа, м^3 , приходящегося на 1 кг твердого или жидкого топлива, может быть найдено по зависимости

$$x = \frac{1 - q'}{q'} \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}'}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}''}}. \quad (1.18)$$

На основе (1.17) и (1.18) теплоту сгорания смеси можно получить, зная исходные данные по основному топливу $Q_{\text{н}}^{\text{р}'}$ и q' :

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}'} \frac{1}{q'}. \quad (1.19)$$

ПРИМЕРЫ

Пример 1.3. Для кузнецкого угля (элементный состав — см. пример 1.1) определить $Q_{\text{н}}^{\text{с}}$, $Q_{\text{н}}^{\text{г}}$, $Q_{\text{н}}^{\text{в}}$, если низшая теплота сгорания рабочей массы равна $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 23\,990 \text{ кДж/кг}$.

Решение.

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} + 25,1 (W^{\text{р}} + 9H^{\text{р}}) = 23\,990 + 25,1 (12,0 + 9 \cdot 3,45) = \\ = 25\,071 \text{ кДж/кг};$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{с}} = (Q_{\text{н}}^{\text{р}} + 25,1 W^{\text{р}}) \frac{100}{100 - W^{\text{р}}} - 226 \text{ Н}^{\text{с}} = (23\,990 + \\ + 25,1 \cdot 12,0) \frac{100}{100 - 12,0} - 226 \cdot 3,92 = 27\,604 - 886 = 26\,718 \text{ кДж/кг};$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{г}} = (Q_{\text{н}}^{\text{р}} + 25,1 W^{\text{р}}) \frac{100}{100 - W^{\text{р}} - A^{\text{р}}} - 226 \text{ Н}^{\text{г}} = (23\,990 + \\ + 25,1 \cdot 12,0) \frac{100}{100 - 12,0 - 11,4} - 226 \cdot 4,5 = 30\,695 \text{ кДж/кг}.$$

Пример 1.4. Насколько увеличивается высшая и низшая теплота сгорания рабочей массы угольной пыли назаровского угля (приложение, табл. П.1, топливо № 15) при переходе от замкнутой схемы сушки к разомкнутой с окончательной влажностью пыли $W^{\text{пл}} = 10,0\%$. Исходная низшая теплота сгорания рабочей массы топлива равна $13\,020 \text{ кДж/кг}$.

Определяем низшую теплоту сгорания пыли:

$$Q_{\text{н}}^{\text{пл}} = (Q_{\text{н}}^{\text{р}} + 25,1 W^{\text{р}}) \frac{100 - W^{\text{пл}}}{100 - W^{\text{р}}} - 25,1 W^{\text{пл}} = \\ = (13\,020 + 25,1 \cdot 39,0) \frac{100 - 10,0}{100 - 39,0} - 25,1 \cdot 10,0 = 20\,403 \text{ кДж/кг}.$$

Находим высшую теплоту сгорания исходного топлива и пыли:

$$Q_{\text{в}}^{\text{р}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} + 25,1(9H^{\text{р}} + W^{\text{р}}) = 13\,020 + 25,1(9 \cdot 2,6 + 39,0) = 14\,586 \text{ кДж/кг};$$

$$Q_{\text{в}}^{\text{пл}} = Q_{\text{в}}^{\text{р}} \frac{100 - W^{\text{пл}}}{100 - W^{\text{р}}} = 14\,586 \frac{100 - 10,0}{100 - 39,0} = 21\,520 \text{ кДж/кг}.$$

Другой вариант определения высшей теплоты сгорания пыли

$$Q_{\text{в}}^{\text{пл}} = Q_{\text{н}}^{\text{пл}} + 25,1(9H^{\text{пл}} + W^{\text{пл}}) = 20\,403 + 25,1(9 \cdot 3,84 + 10,0) = 21\,520 \text{ кДж/кг};$$

где

$$H^{\text{пл}} = H^{\text{р}} \frac{100 - W^{\text{пл}}}{100 - W^{\text{р}}} = 2,6 \frac{100 - 10,0}{100 - 39,0} = 3,84\%.$$

Пример 1.5. Определить теплоту сгорания газообразного топлива, имеющего следующий состав: $\text{CH}_4 = 94,0\%$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 2,8\%$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,4\%$; $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,3\%$; $\text{C}_5\text{H}_{12} = 0,1\%$; $\text{N}_2 = 2,0\%$; $\text{CO}_2 = 0,4\%$.

Решение. Определим теплоту сгорания газа по (1.14):

$$Q_{\text{н}}^{\text{г}} = 0,01(0 + 0 + 0 + 35\,818 \cdot 94,0 + 63\,248 \cdot 2,8 + 91\,251 \cdot 0,4 + 118\,646 \cdot 0,3 + 146\,077 \cdot 0,1) = 36\,321 \text{ кДж/м}^3 = 36,321 \text{ МДж/м}^3.$$

Низшая теплота сгорания отдельных газовых составляющих принята по табл. 2.5 [1] с соответствующим пересчетом значений в систему единиц (СИ).

Пример 1.6. При работе на сниженных нагрузках в топке котла сжигается 25 т/ч твердого топлива с $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 20\,934 \text{ кДж/кг}$ и $15 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$ газа с $Q_{\text{н}}^{\text{г}} = 40 \cdot 10^3 \text{ кДж/кг}$. Определить условную теплоту сгорания смеси топлив.

Решение. При сжигании твердого или жидкого топлива в смеси с газообразным расчет ведется по условной теплоте сгорания, отнесенной к 1 кг твердого или жидкого топлива: $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} + x Q_{\text{н}}^{\text{г}}$, где x — количество газа, м^3 , приходящегося на 1 кг твердого или жидкого топлива,

$$x = \frac{15 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^3} = 0,6.$$

Тогда $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 20\,934 + 0,6 \cdot 40 \cdot 10^3 = 44\,934 \text{ кДж/кг}$.

ЗАДАЧИ

Задача 1.5. Проверить правильность определения элементного состава топлива, если известны данные лабораторных исследований: $\text{C}^{\text{с}} = 62,17\%$; $\text{H}^{\text{с}} = 4,10\%$; $\text{O}^{\text{с}} = 5,17\%$; $\text{N}^{\text{с}} = 1,29\%$; $\text{S}^{\text{с}} = 3,27\%$, а также $A^{\text{р}} = 22,10\%$; $W^{\text{р}} = 7,90\%$; $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 22\,776 \text{ кДж/кг}$.

Задача 1.6. При открытом способе добычи экибастузского угля произошло увеличение его зольности с 38,1 до 48,0% в рабочей массе и влажности

с 7,0 до 11,0%. Определить, насколько изменится низшая теплота сгорания угля, если ее исходное значение составляло $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 16\,747$ кДж/кг.

Задача 1.7. Определить теплоту сгорания смеси твердого топлива с низшей теплотой сгорания $Q_{\text{н}1}^{\text{P}} = 13\,020$ кДж/кг и мазута с $Q_{\text{н}2}^{\text{P}} = 38\,800$ кДж/кг при тепловой доле твердого топлива в смеси $q' = 0,30$.

Задача 1.8. На ТЭЦ сжигается доменный газ и мазут. Доля тепловыделения доменного газа $q'' = 0,6$. Определить количество газа на 1 кг мазута и теплоту сгорания смеси на 1 кг мазута. Мазут имеет $Q_{\text{н}}^{\text{P}'} = 38\,870$ кДж/кг, а доменный газ $Q_{\text{н}}^{\text{P}''} = 3710$ кДж/м³.