

Барышев В. П., Димитрова Ж. В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.Одесса

## УРАВНЕНИЕ ЭНТАЛЬПИИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

Энтальпия продуктов сгорания твердого, жидкого или газообразного топлива может быть рассчитана по уравнению:

$$I_{\Gamma} = I_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1)I_{\text{B}}^0 + I_{\text{зл}}, \text{ кДж/кг (кДж/ м}^3\text{)} \quad (1)$$

Размерность кДж/кг означает, что энтальпия относится к 1 кг твердого или жидкого топлива, а кДж/ м<sup>3</sup> - относится к 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива. В случае газообразного топлива последнее слагаемое в уравнении (1) не учитывается.

Энтальпия теоретического количества продуктов сгорания при температуре  $\vartheta$ , может быть рассчитана по уравнению, кДж/кг (кДж/ м<sup>3</sup>):

$$I_{\Gamma}^0 = V_{\text{RO}_2} (c\vartheta)_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 (c\vartheta)_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 (c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}. \quad (2)$$

Энтальпия теоретически необходимого количества воздуха, кДж/кг:

$$I_{\text{B}}^0 = V^0 (c\vartheta)_{\text{B}}. \quad (3)$$

Энтальпия золы, кДж/кг:

$$I_{\text{зл}} = a_{\text{yh}} \frac{A^{\text{P}}}{100} (c\vartheta)_{\text{зл}}, \quad (4)$$

где доля уносимой золы учитывается, если приведенная величина уноса золы из топки  $a_{\text{yh}} \cdot A^{\text{P}} / Q_{\text{H}}^{\text{P}} \geq 1,43 (\% \text{ кг})/\text{МДж}$ .

С учетом записанных формул уравнение энтальпии может быть представлено в виде:

$$I_{\Gamma} = V_{\text{RO}_2} (c\vartheta)_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 (c\vartheta)_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 (c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}} + (\alpha - 1)V^0 (c\vartheta)_{\text{B}} + a_{\text{yh}} \frac{A^{\text{P}}}{100} (c\vartheta)_{\text{зл}} \quad (5)$$

В результате преобразований можем записать уравнение для энтальпии в следующем виде:

$$I_{\Gamma} = A(\vartheta) + \alpha B(\vartheta) \quad (6)$$

Температурная зависимость коэффициентов уравнения энтальпии определяется температурной зависимостью уравнений удельных теплоемкостей продуктов сгорания.

Уравнения для удельных теплоемкостей компонентов продуктов сгорания могут быть получены методом наименьших квадратов на основе литературных данных о теплоемкости  $\text{CO}_2, \text{N}_2, \text{H}_2\text{O}$ , воздуха и золы в широком интервале температур.

С целью получения оптимальных аппроксимационных уравнений анализировались полиномиальные уравнения различной степени. В результате проведенных расчетов были отобраны аппроксимационные полиномы четвертой степени относительно независимой переменной  $\tau = \frac{\vartheta}{1000}$ .

На рис. 1 – 5 приведены результаты аппроксимации удельных

теплоемкостей продуктов сгорания, полученные итоговые уравнения и значения критерия качества описания  $R^2$ .

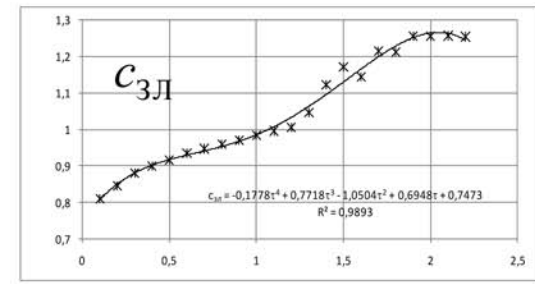


Рис. 1 Результаты аппроксимации и уравнение теплоемкости золы в зависимости от  $\tau = \frac{t}{1000}$ .

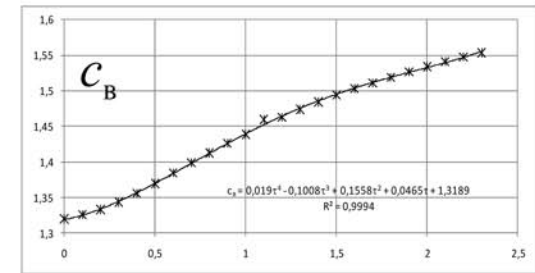


Рис. 2 Результаты аппроксимации и уравнение теплоемкости воздуха в зависимости от  $\tau = \frac{t}{1000}$ .

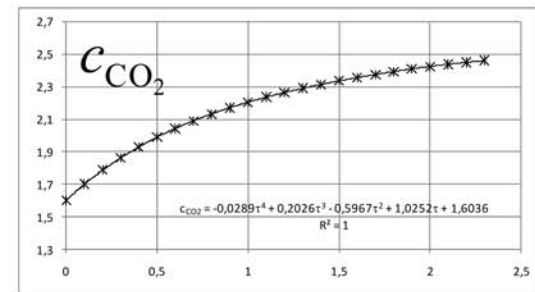


Рис. 3 Результаты аппроксимации и уравнение теплоемкости двуокиси углерода в зависимости от  $\tau = \frac{t}{1000}$ .

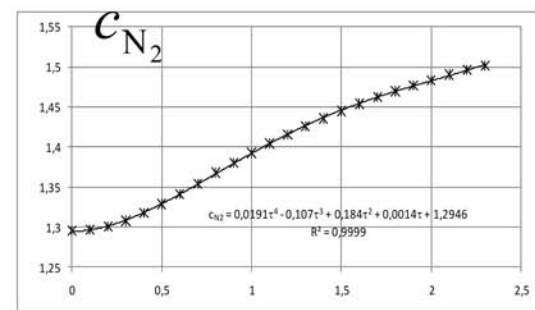


Рис. 4 Результаты аппроксимации и уравнение теплоемкости азота в зависимости от  $\tau = \frac{t}{1000}$ .

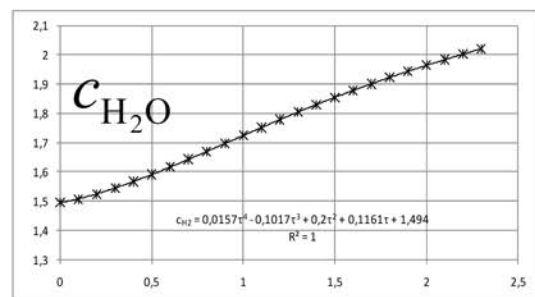


Рис. 5 Результаты аппроксимации и уравнение теплоемкости водяных паров в зависимости от  $\tau = \frac{t}{1000}$ .

Коэффициенты полученных аппроксимационных уравнений теплоемкостей сведены в табл. 1.

Таблица 1.

Коэффициенты аппроксимационных уравнений теплоемкостей газов и золы

| RO <sub>2</sub>                | N <sub>2</sub>                 | H <sub>2</sub> O               | Воздух                         | Зола                           |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| a <sub>01</sub> =1,603633E+00  | a <sub>02</sub> =1,294596E+00  | a <sub>03</sub> =1,493984E+00  | a <sub>04</sub> =1,318595E+00  | a <sub>05</sub> =7,187739E-01  |
| a <sub>11</sub> =1,025166E+00  | a <sub>12</sub> =1,408560E-03  | a <sub>13</sub> =1,161143E-01  | a <sub>14</sub> =5,244615E-02  | a <sub>15</sub> =8,973245E-01  |
| a <sub>21</sub> =-5,966653E-01 | a <sub>22</sub> =1,840431E-01  | a <sub>23</sub> =2,000343E-01  | a <sub>24</sub> =1,393509E-01  | a <sub>25</sub> =-1,500935E+00 |
| a <sub>31</sub> =2,026120E-01  | a <sub>32</sub> =-1,070273E-01 | a <sub>33</sub> =-1,017239E-01 | a <sub>34</sub> =-8,854508E-02 | a <sub>35</sub> =1,136265E+00  |
| a <sub>41</sub> =-2,894011E-02 | a <sub>42</sub> =1,908825E-02  | a <sub>43</sub> =1,570428E-02  | a <sub>44</sub> =1,628703E-02  | a <sub>45</sub> =-2,721553E-01 |

Выполнив соответствующие преобразования с учетом полученных уравнений теплоемкостей, уравнение энтальпии продуктов сгорания запишется в виде:

$$I_{\Gamma} = \sum_{i=0}^4 A_i^I * \tau^{i+1} + \alpha \sum_{i=0}^4 B_i^I * \tau^{i+1} \quad (7)$$

$$\text{где } A_i^I = \left( V_{RO_2} a_{i1} + V_{N_2} a_{i2} + V_{H_2O} a_{i3} - V^0 a_{i4} + a_{yn} \frac{A^P}{100} a_{i5} \right) * 10^3; B_i^I = V^0 a_{i4} * 10^3.$$

Уравнение теплоемкости продуктов сгорания может быть получено из уравнения энтальпии (7) в следующем виде:

$$C_{\Gamma} = \sum_{i=0}^4 A_i^T * \tau^i + \alpha \sum_{i=0}^4 B_i^T * \tau^i \quad (8)$$

$$\text{где } A_i^T = \frac{A_i^I}{10^3}; B_i^T = \frac{B_i^I}{10^3}.$$

Полученные уравнения энтальпии и теплоемкости продуктов сгорания могут быть использованы также для определения адиабатной температуры горения топлива численным методом.