

УДК 669.162

Ю.А.Ситников (асп., каф. СиС), В.Н.Андронов, д.т.н., проф.

## УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА ОТХОДЯЩИХ ИЗ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ ГАЗОВ С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ЕГО ОБОГРЕВ

Одним из аспектов модернизации доменной печи № 4 ОАО “Северсталь” (Череповец, Россия) является установка системы утилизации тепла для экономичности эксплуатации воздухонагревателей, за счёт сокращения расхода высококалорийного природного газа.

Свои разработки систем утилизации тепла дымовых газов имеют как отечественные, так и зарубежные фирмы: ЗАО “Калугин”, ОАО машиностроительный завод “ЗиО-Подольск”, “Didier-M&P Energietechnik GmbH” и “Nippon steel corporation”.

Все представленные на тендер ОАО “Северсталь” проекты обеспечивают нагрев газа и воздуха горения до температуры 200°C, что позволяет снизить расход высококалорийного природного газа. Также все проекты, по утверждению разработчиков, могут позволить полностью отказаться от использования природного газа, и обеспечить нагрев дутья до температуры 1250°C благодаря утилизации тепла отходящих газов.

Далее приведён алгоритм расчёта для условий проекта реконструкции доменной печи № 4 ОАО “Северсталь”.

Определение расхода воздуха и выхода продуктов горения на 1 нм<sup>3</sup> сухого отопительного газа:

1) Теоретический расход воздуха на 1 нм<sup>3</sup> сухого доменного газа:

$$V_0 = \frac{0,5 \cdot CO + 2 \cdot CH_4 + 0,5 \cdot H_2}{21 \cdot (1 - 0,01 \cdot \varphi_B)} ;$$

2) Определение теплоты сгорания сухого доменного газа, ккал/нм<sup>3</sup>:

$$Q_{дг} = 30,2 \cdot CO + 85,6 \cdot CH_4 + 25,8 \cdot H_2 ;$$

3) Определение теплосодержаний компонентов продуктов сгорания при заданной температуре под куполом ( $t_1=1450^\circ\text{C}$ );

4) Определение выхода продуктов горения на 1 нм<sup>3</sup> сухого доменного газа при теоретическом расходе воздуха:

$$\begin{aligned} V_{CO_2}' &= 0,01 \cdot (CO_2 + CO + CH_4) , \\ V_{N_2}' &= 0,01 \cdot N_2 + 0,79 \cdot (1 - 0,01 \cdot \varphi_B) \cdot V_0 , \\ V_{H_2O}' &= 0,01 \cdot (2 \cdot CH_4 + H_2 + \varphi_r + \varphi_B \cdot V_0) . \end{aligned}$$

5) Определение количества продуктов горения на 1 нм<sup>3</sup> сухого доменного газа при заданном избытке воздуха:

$$\begin{aligned} V_{CO_2} &= V_{CO_2}' , \\ V_{O_2} &= 0,21 \cdot \beta_{зад} \cdot (1 - 0,01 \cdot \varphi_B) \cdot V_0 , \\ V_{N_2} &= V_{N_2}' + 0,79 \cdot \beta_{зад} \cdot (1 - 0,01 \cdot \varphi_B) \cdot V_0 , \\ V_{H_2O} &= V_{H_2O}' + 0,01 \cdot \beta_{зад} \cdot \varphi_B \cdot V_0 , \\ V_{\Sigma} &= V_{CO_2} + V_{O_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} , \end{aligned}$$

Определение состава продуктов горения, % об.;

6) Определение теплосодержания продуктов сгорания доменного газа;

7) Теоретический расход воздуха на 1  $\text{нм}^3$  природного газа:

$$\bar{V}_0 = \frac{2 \cdot \text{CH}_4 + 3,5 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 5 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 6,5 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} + 8 \cdot \text{C}_5\text{H}_{12}}{21 \cdot (1 - 0,01 \cdot \varphi_B)} ;$$

8) Определение теплоты сгорания природного газа, ккал/нм:

$$Q_{\text{пр}} = 85,6 \cdot \text{CH}_4 + 152,35 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 218,1 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 283,65 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} + 349,1 \cdot \text{C}_5\text{H}_{12} ;$$

9) Определение количества продуктов горения на 1  $\text{нм}^3$  природного газа при заданном избытке воздуха:

$$\bar{V}_{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot (\text{CH}_4 + 2 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 3 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 4 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} + 5 \cdot \text{C}_5\text{H}_{12}) ,$$

$$\bar{V}_{\text{O}_2} = 0,21 \cdot \beta_{\text{зад}} \cdot (1 - 0,01 \cdot \varphi_B) \cdot \bar{V}_0 ,$$

$$\bar{V}_{\text{N}_2} = 0,01 \cdot \text{N}_2 + 0,79 \cdot (1 + \beta_{\text{зад}}) \cdot (1 - \varphi_B) \cdot \bar{V}_0 ,$$

$$\bar{V}_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot (2 \cdot \text{CH}_4 + 3 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 4 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 5 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} + 6 \cdot \text{C}_5\text{H}_{12}) + 0,01 \cdot \varphi_B \cdot (1 + \beta_{\text{зад}}) \cdot \bar{V}_0 ,$$

$$\bar{V}_{\Sigma} = \bar{V}_{\text{CO}_2} + \bar{V}_{\text{O}_2} + \bar{V}_{\text{N}_2} + \bar{V}_{\text{H}_2\text{O}} ;$$

10) Определение теплосодержания продуктов сгорания на 1  $\text{нм}^3$  природного газа при температуре под куполом  $t_1=1450^\circ\text{C}$ ;

11) Определение расхода природного газа, необходимого для обеспечения температуры продуктов горения под куполом  $\text{нм}^3/\text{нм}^3$  доменного газа:

$$m = \frac{i_{\Sigma} - (1 - 0,01 \cdot z) \cdot Q_{\text{др}}}{(1 - 0,01 \cdot z) \cdot Q_{\text{пр}} - \bar{i}_{\Sigma}} ;$$

12) Определение теплоты сгорания смешанного газа, ккал/нм:

$$Q_{\text{см}} = \frac{Q_{\text{др}} + mQ_{\text{пр}}}{1 + m} ;$$

13) Определение расхода тепла на нагрев дутья, ккал/кг чугуна:

$$Q_{\text{вн}} = \frac{\bar{V}_d \cdot (c_0 \cdot t_d + \varphi \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot t_d) - (c_0 \cdot t_{\text{хд}} + \varphi \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot t_{\text{хд}})}{\eta_{\text{вн}}} ;$$

14) Определение расхода смешанного газа  $\text{м}^3/\text{кг}$  чугуна:

$$V_{\text{сг}} = \frac{Q_{\text{вн}}}{Q_{\text{сг}}} ;$$

15) Зная удельный расход природного газа, из пропорционального отношения определим расход доменного и природного газа в  $\text{м}^3/\text{т}$  чугуна;

16) Задаваясь температурой нагрева газа и воздуха горения определим уменьшение расхода природного газа исходя из следующего соотношения:

$$\Delta_{\text{пг}} = \frac{i_{\text{сг}} + i_{\text{в}}}{q_{\text{пг}}} ;$$

#### Результаты расчёта:

При температуре газа и воздуха горения  $0^\circ\text{C}$ , расход природного газа на отопление воздухонагревателя составляет  $44,62 \text{ м}^3/\text{т}$  чугуна. При повышении температуры до  $160^\circ\text{C}$  происходит снижение расхода природного газа на  $6,68 \text{ м}^3/\text{т}$  чугуна (расход природного газа  $37,94 \text{ м}^3/\text{т}$  чугуна), до  $180^\circ\text{C}$  – на  $7,53 \text{ м}^3/\text{т}$  чугуна (расход  $37,09 \text{ м}^3/\text{т}$  чугуна) и до  $200^\circ\text{C}$  – на  $8,37 \text{ м}^3/\text{т}$  чугуна (расход  $36,52 \text{ м}^3/\text{т}$  чугуна).

Таким образом, годовая экономия природного газа (для условий доменной печи № 4 ОАО “Северсталь”) может достигать 20 млн. кубометров. Это является необходимой экономической предпосылкой для внедрения данной технологии.