

ВЛИЯНИЕ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА  
СНИЖЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКИСЛОВ АЗОТА В  
ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ

Значительная часть общего количества вредных примесей, выбрасываемых в атмосферу, образуется в результате сжигания топлива. Количество образующихся окислов азота зависит от ряда факторов, в частности коэффициента избытка воздуха, нагрузки парогенератора, температуры в зоне горения и др.

Рассмотрим влияние рециркуляции газов на образование  $\text{NO}_x$  при следующих допущениях: влияние рециркуляции проявляется только через снижение температуры в зоне горения (аналогично [1]); отсутствии обратной реакции; изменении концентрации во времени одинаково для случаев без рециркуляции и с рециркуляцией.

Запишем уравнение теплового баланса в расчете на 1 кг топлива с учетом тепла рециркулирующих газов

$$(V_{\text{гр}} + V_{\text{г}}) C T_{\text{р}} = Q'_{\text{т}} + I_{\text{гр}} \quad (1)$$

$$\text{Здесь } Q'_{\text{т}} = Q_{\text{р}}^{\text{р}} \frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} + Q_{\text{в}} - Q_{\text{в.вн}},$$

где  $I_{\text{гр}}$  — тепло, вносимое в топку газами рециркуляции;  $I_{\text{гр}} = V_{\text{гр}} \cdot C t_{\text{гр}}$ ;  $V_{\text{г}}$  — объем продуктов сгорания в топке на 1 кг топлива без рециркуляции;  $V_{\text{гр}}$  — объем газов, отбираемых на рециркуляцию на 1 кг топлива;  $C$  — теплоемкость газов;  $T_{\text{р}}$  — адиабатическая температура газов в топке при рециркуляции.

Из уравнения (1) получим

$$\frac{1}{T_{\text{р}}} = \frac{(V_{\text{гр}} + V_{\text{г}}) C}{Q'_{\text{т}} + I_{\text{гр}}} \quad (2)$$

Для случая без рециркуляции по аналогии запишем

$$\frac{1}{T} = \frac{V_{\text{г}} \cdot C}{Q'_{\text{т}}} \quad (3)$$

С учетом обратной реакции

$$\frac{dNO}{d\tau} = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) f(c), \quad (4)$$

где  $A$  — постоянная Аррениуса;  $E$  — энергия активации;  $f(c)$  — функция, учитывающая концентрацию реагирующих веществ;  $R$  — универсальная газовая постоянная.

Полагая  $f(c) = \text{const}$ , будем иметь для случая с рециркуляцией

$$NO_p = A \exp\left(-\frac{E}{RT_p}\right) f(c_p) \tau_p \quad (5)$$

и для случая без рециркуляции

$$NO = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) f(c) \tau. \quad (6)$$

Или для случая с рециркуляцией

$$NO_p = A \exp\left[-\frac{E(V_{gp} + V_r)C}{R(Q'_T + I_{gp})}\right] f(c_p) \tau_p \quad (7)$$

и без рециркуляции

$$NO = A \exp\left[-\frac{E V_r C}{R Q'_T}\right] f(c) \tau. \quad (8)$$

Разделим уравнение (7) на (8)

$$\frac{NO_p}{NO} = \frac{A \exp\left[-\frac{E(V_{gp} + V_r)C}{R(Q'_T + I_{gp})}\right] f(c_p) \tau_p}{A \exp\left[-\frac{E V_r C}{R Q'_T}\right] f(c) \tau} \quad (9)$$

Принимая  $\tau_p = \tau$ ;  $f(c_p) = f(c)$ , окончательно имеем

$$\ln\left(\frac{NO_p}{NO}\right) = -\frac{E_c V_{\Gamma}}{R Q'_T} \left( \frac{Q'_T - \frac{I_{\Gamma p}}{r_{\text{рец}}}}{Q'_T + I_{\Gamma p}} \right) r_{\text{рец}}, \quad (10)$$

где  $r_{\text{рец}} = \frac{V_{\Gamma p}}{V_{\Gamma}}$ .

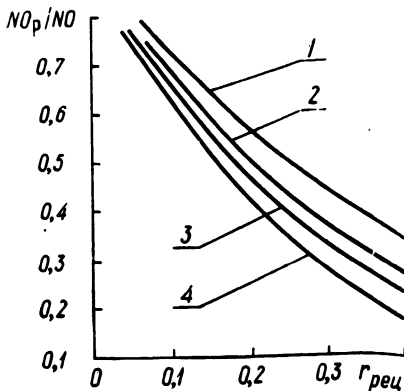


Рис. 1. Зависимость  $\frac{NO_p}{NO} = f(r_{\text{рец}})$  при  $\alpha = 1,02$  от температуры газов рециркуляции (топливо—мазут): 1—экспериментальная кривая; 2, 3, 4 —  $T_{\Gamma} = 723 \text{ K}, 573, 423 \text{ K}$  соответственно.

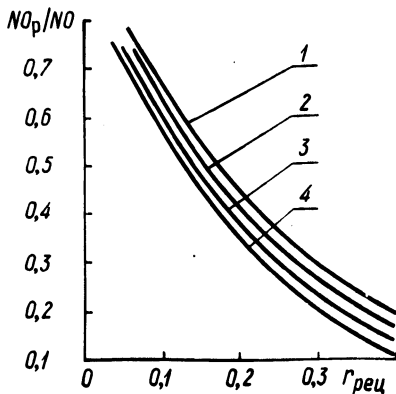


Рис. 2. Зависимость  $\frac{NO_p}{NO} = f(r_{\text{рец}})$  при различных коэффициентах избытка воздуха: 1, 2, 3 —  $\alpha = 1,02; 1,1; 1,2$  соответственно (для мазута); 4 —  $\alpha = 1,2$  (для подмосковного бурого угля).

На рис. 1 изображена зависимость  $\frac{NO_p}{NO} = f(r_{\text{рец}})$  при  $\alpha = 1,02$  и различной температуре газов рециркуляции. Из приведенной зависимости видно, что чем ниже температура газов, тем сильнее проявляется эффект рециркуляции. На графике (рис. 1) изображена зависимость  $\frac{NO_p}{NO} = f(r_{\text{рец}})$ , полученная при исследовании влияния рециркуляций на выход  $NO$  при циклонном способе сжигания мазута [2] при  $\alpha = 1,04$ .

Некоторое несовпадение экспериментальной и расчетной кривых объясняется тем, что расчетная кривая не учитывает всех специфических особенностей, присущих данному способу сжигания. Расчетная зависимость построена для адиабатической температуры, а в действительности температура горения будет значительно ниже адиабатической.

На рис. 2 показано влияние рециркуляции на выход окислов азота при различных коэффициентах избытка воздуха. Из графика (рис. 2) видно, что эффективность рециркуляции увеличивается с увеличением коэффициента избытка воздуха. На рис. 2 показана также зависимость снижения окислов азота от степени рециркуляции при сжигании различных топлив. Кривая 4, построенная для случая сжигания подмосковного бурого угля с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha = 1,2$ , располагается ниже кривой 3 для случая сжигания мазута при том же избытке воздуха, что объясняется различными соотношениями  $Q_{н}^P, V_{г}^o, V_{в}^o$  для этих топлив (рис. 2).

### В ы в о д ы

Зависимости  $\frac{NO}{NO^P} = f(r_{рец})$ , полученные расчетным путем, довольно хорошо согласуются с результатом эксперимента при близких условиях.

Из рассмотренных факторов, влияющих на снижение выхода окислов азота, наибольшее влияние оказывает степень рециркуляции дымовых газов.

### Л и т е р а т у р а

1. Wahnschaffe E. Die Bildung der Stickstoff-oxide bei der Verbrennung von schweren Heizöl. -- "VGB Kraftwerkstechnik", 1973, 53, N 4. 2. Жихар Г.И., Руденков Б.М. Исследование влияния различных факторов на выход окислов азота при циклонном способе сжигания мазута. — "Изв. ВУЗов. Энергетика", 1976, № 8.

Б.В. Яковлев, Л.В. Кузнецов

### ВЫБОР ПРОФИЛЯ ТУРБИН МОЩНЫХ ТЭЦ ПРИ РАБОТЕ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В связи с интенсивным жилищным и промышленным строительством многие города имеют расчетную тепловую нагрузку 2000—3000 Гкал/ч. Мощность ТЭЦ, покрывающих эту нагрузку, равна 750—1500 МВт. Радиусы действия городских сетей составляют 10—20 км и более. Гидравлические режимы и схемы тепловых сетей сильно усложняются, а вместе с ними и мето-