

УДК 621.181

Івасик Я.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра теплотехніки і теплових електростанцій

ВИЗНАЧЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ З ВИКОРИСТАННЯМ РІВНЯНЬ У МАЛИХ ВІДХИЛЕННЯХ

© Івасик Я., 2000

Methodology of the investigations of the changes in nitrogen oxides exhausts using small deviations equations is given.

Рівень викидів оксидів азоту в атмосферу є одним з основних екологічних показників теплових електричних станцій, для оцінки яких широко використовують різні інженерні методики, які дозволяють оцінити вихід NO_x залежно від умов спалювання палив.

Проте на практиці інколи зустрічаються задачі, для розв'язання яких ці методики розрахунку є доволі громіздкими і незручними. Також під час проектування, і особливо при режимному налагодженні котла, виникає необхідність визначити взаємний вплив різних параметрів роботи котла на величину NO_x .

У цій роботі наводиться методика дослідження зміни питомих викидів оксидів азоту з використанням рівнянь у “малих відхиленнях”*, що дозволяють враховувати не лише зміну у генеруванні NO_x при зміні режиму роботи котла або при конструктивних змінах в обладнанні котла – місце їх розташування тощо, що неможливо при застосуванні відомих методик.

Рівняння розрахунку паливних оксидів азоту має вигляд:

$$K_{\text{NO}_2}^{\text{III}} = 0,7N^{\text{II}}\beta_{\alpha_{\text{II}}}\beta_{\alpha_1}\beta_{\text{r}_{\text{II}}}\beta_9\beta_{\text{cm}}, \quad (1)$$

де N^{II} – приведений вміст азоту в паливі, кг/ГДж; $\beta_{\alpha_{\text{II}}}$ – коефіцієнт, який враховує надлишок повітря у пальнику; β_{α_1} – коефіцієнт, який враховує частку первинного повітря у пальнику; $\beta_{\text{r}_{\text{II}}}$ – коефіцієнт, який враховує рециркуляцію димових газів на первинне повітря; β_9 – коефіцієнт, який враховує вплив максимальної температури на ділянці утворення паливних оксидів азоту; β_{cm} – коефіцієнт, який враховує вплив сумішоутворення на корінь факела.

Запишемо вираз для повного диференціала функції $K_{\text{NO}_2}^{\text{III}}$:

$$\begin{aligned} dK_{\text{NO}_2}^{\text{III}} = & \frac{\partial K_{\text{NO}_2}^{\text{III}}}{\partial N^{\text{II}}} dN^{\text{II}} + \frac{\partial K_{\text{NO}_2}^{\text{III}}}{\partial \beta_{\alpha_{\text{II}}}} d\beta_{\alpha_{\text{II}}} + \frac{\partial K_{\text{NO}_2}^{\text{III}}}{\partial \beta_{\alpha_1}} d\beta_{\alpha_1} + \\ & + \frac{\partial K_{\text{NO}_2}^{\text{III}}}{\partial \beta_{\text{r}_{\text{II}}}} d\beta_{\text{r}_{\text{II}}} + \frac{\partial K_{\text{NO}_2}^{\text{III}}}{\partial \beta_9} d\beta_9 + \frac{\partial K_{\text{NO}_2}^{\text{III}}}{\partial \beta_{\text{cm}}} d\beta_{\text{cm}}. \end{aligned} \quad (2)$$

* Черкез А.Я. Инженерные расчеты газотурбинных двигателей методом малых отклонений. – М., 1965.

Диференціюючи отримане рівняння і враховуючи, що $d(\ln x) = \frac{dx}{x}$, знайдемо:

$$\frac{dK_{NO_2}^{III}}{K_{NO_2}^{III}} = \frac{dN^P}{N^P} + \frac{d\beta_{\alpha_n}}{\beta_{\alpha_n}} + \frac{d\beta_{\alpha_1}}{\beta_{\alpha_1}} + \frac{d\beta_{r_n}}{\beta_{r_n}} + \frac{d\beta_{T_{ar}}}{\beta_{T_{ar}}} + \frac{d\beta_{W_2/W_1}}{\beta_{W_2/W_1}}, \quad (3)$$

де після незначних перетворень отримуємо зв'язок між відносними приростами:

$$\delta K_{NO_2}^{III} = \delta N^P + \delta \beta_{\alpha_n} + \delta \beta_{\alpha_1} + \delta \beta_{r_n} + \delta \beta_{T_{ar}} + \delta \beta_{W_2/W_1}. \quad (4)$$

Тепер запишемо зв'язок між відносною зміною питомих викидів оксидів азоту і зміною $N^P, \alpha_n, \alpha_1, r_n, T_{ar}''$ і (W_2 / W_1) хоча б для одного елемента рівняння для прикладу:

$$\delta \beta_{r_n} = \frac{d\beta_{r_n}}{\beta_{r_n}} = K_3 \frac{dr_n}{r_n} = K_3 \delta r_n, \quad (5)$$

$$\text{де } \beta_{r_n} = 1 - 0,016\sqrt{r_n}, \quad K_3 = -\frac{0,008\sqrt{r_n}}{1 - 0,016\sqrt{r_n}}.$$

Отже, кінцеве рівняння розрахунку паливних оксидів азоту у “малих відхиленнях” для котла набере вигляду:

$$\delta K_{NO_2}^{III} = \delta N^P + K_1 \delta \alpha_n + K_2 \delta \alpha_1 + K_3 \delta r_n + K_4 \delta T_{ar}'' + K_5 \delta (W_2 / W_1), \quad (6)$$

де K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – коефіцієнти впливу, відповідно, від коефіцієнта надлишку повітря у пальнику α_n ($0,9 \leq \alpha_n \leq 1,3$), частки первинного повітря у пальнику α_1 ($0,15 \leq \alpha_1 \leq 0,50$), рециркуляції димових газів на первинне повітря r_n ($0 \leq r_n \leq 30\%$), температури газів за зоною активного горіння T_{ar}'' ($1250 \leq T_{ar}'' \leq 2050$), співвідношення швидкостей вторинного і первинного повітря на виході з пальника; $\delta K_{NO_2}^{III}, \delta N^P, \delta \alpha_n, \delta \alpha_1, \delta r_n, \delta T_{ar}'', \delta (W_2 / W_1)$ – відносні прирости функцій.

За допомогою рівняння (6) достатньо легко можна аналізувати вплив тих чи інших параметрів на утворення NO_x . Так, із цього рівняння виходить: якщо вміст азоту на робочу масу палива, наприклад, збільшити на 1,0 %, то і кількість паливних оксидів азоту при інших незмінних умовах ($\alpha_n = \text{const}, \alpha_1 = \text{const}, r_n = \text{const}, T_{ar}'' = \text{const}$ і $(W_2 / W_1) = \text{const}$) збільшиться на 1,0 %.

У разі зростання на 1,0 % величин $\alpha_n, \alpha_1, r_n, T_{ar}''$ і (W_2 / W_1) питомі викиди оксидів азоту змінюються відповідно на $K_1, \%, K_2, \%, K_3, \%, K_4, \%$ і $K_5, \%$, тобто їх приріст залежить не тільки від змін, але і від початкових величин $\alpha_n, \alpha_1, r_n, T_{ar}''$ і (W_2 / W_1) .

Розроблена методика визначення оксидів азоту з використанням рівнянь у “малих відхиленнях” значно спрощує всі розрахунки при достатній точності отриманих результатів, дозволяє враховувати конструктивно-режимні характеристики обладнання та режими їх експлуатації, а також автоматизувати на ЕОМ пошуки оптимумів викидів оксидів азоту та знаходити достатньо просто оптимальні режими експлуатації.