

## Моделирование выделения вредных веществ в отработавших газах ДВС

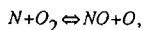
Короленко Р.В.

Белорусский национальный технический университет

Методы численного моделирования для решения задач расчёта и прогнозирования изменения показателей вредных выборов в зависимости от различных конструктивных факторов, являются сегодня одними из самых необходимых при проектировании двигателей.

В дизелях горючее и окислитель пространственно разделены и заранее не перемешаны. Химическая реакция горения между окислителем и горючим в таких условиях может произойти только после смешения реагентов в результате молекулярной или турбулентной диффузии.

Процессы образования окиси азота из азота воздуха при горении углеводородных топлив описываются с помощью расширенного механизма Я.Б. Зельдовича:



который, при условии квазистационарности концентрации атомарного кислорода, приводит к следующему выражению для скорости образования NO:

$$w_{NO} = \frac{2 \cdot k_1 [O] [N_2]}{1 + k_{-1} [NO]^{-b} / (k_{-2} [O_2])} \cdot \frac{2 \cdot k_2 [NO] [O]}{1 + k_{-2} [O_2] / (k_{-1} [NO]^{-b})},$$

где  $k_i$ ,  $k_{-i}$  – константы скоростей прямой и обратной  $i$ -ой реакции,

$$b = \left\{ + \frac{k_3 [OH]}{k_{-2} [O_2]} \right\}^{-1}.$$

Задача вычисления концентрации окиси азота в фиксированный момент времени  $t$  пребывания пробы газа в высокотемпературных продуктах сгорания углеводородных топлив состоит в расчёте состава термодинамически равновесных (за исключени-

ем NO и N) продуктах сгорания, а затем полученные концентрации компонентов и температура используются при численном интегрировании уравнения первого порядка:

$$\frac{d[NO]}{dt} = W_{NO},$$

где  $W_{NO}$  – задаётся выше приведенными выражениями.

Расчет эмиссии дыма осуществляется по методике профессора Н.Ф. Разлейцева, в которой сделана попытка учесть влияние особенности процесса горения распыленного топлива на образование и выгорание сажевых частиц. Принято, что сажевые частицы образуются преимущественно двумя путями:

- в результате цепного деструктивного превращения молекул топлива, диффундирующих от поверхности капель к фронту пламени;
- вследствие высокотемпературной термической полимеризации и дегидрогенизации парожидкостного ядра испаряющихся капель.

Параллельно идет процесс выгорания сажевых частиц и уменьшения их объемной концентрации вследствие расширения. Здесь приводятся лишь окончательные расчетные соотношения.

Скорость сажеобразования в зоне горения:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_K = 0.004 \frac{q_C}{V} \frac{dx}{d\tau};$$

где:  $V$  - текущий объем цилиндра;

$q_C$  - цикловая подача топлива;

$dx/d\tau$  - скорость тепловыделения.

Скорость сажеобразования по механизму полимеризации ядер капель пропорциональна скорости исчезновения жидких капель вследствие их полного испарения.

На участке впрыска:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_\Pi = 1.7 \frac{q_C}{V} \frac{1 - \exp\left[-\left(\frac{\sqrt{K}\tau}{d_{32}}\right)^{n'}\right]}{\tau_{впр}};$$

где:  $\tau$  - текущее время от начала впрыска,

$\tau_{впр}$  - продолжительность впрыска,

$n'$  - характеристика распределения,  
 $K$  - константа испарения,  
 $d_{32}$  - средний диаметр капле по Заутеру.

После окончания топливоподачи:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_{\Pi} = 0.0028(1 - \chi_{\text{впр}})^{n'q_C} \frac{\sqrt{K_{\tau}}}{2V\tau_2} \left(\frac{\sqrt{K_{\tau}}}{d_{32}}\right)^{n'} \exp\left(-\frac{\sqrt{K_{\tau}}}{d_{32}}\right)^{n'},$$

где:  $\tau_2$  - текущее время от конца подачи топлива;

$\chi_{\text{впр}}$  - доля теплоты, выделившаяся к концу топливоподачи.

Скорость выгорания сажи:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_B = 3.1 \cdot 10^{-6} n^{0.5} p[C];$$

где:  $p$  - текущее давление в цилиндре, МПа,

$[C] = C / V$  - текущая концентрация сажи в объеме цилиндра.

Концентрация сажи в выхлопных газах (приведенная к нормальным условиям)

$$[C]_H = \int_{\varphi_B}^{480} \frac{d[C]}{d\tau} \frac{d\varphi}{6n} \left(\frac{0.1}{p_{480}}\right)^{\frac{1}{k}};$$

где:  $p_{480}$  - давление в цилиндре в момент 60° до НМТ,

$k$  - показатель адиабаты ОГ (1.33).

Перевод полученного значения концентрации сажи  $[C]$ , г/м<sup>3</sup> в единицы шкалы Хартриджа осуществляется по уравнению:

$$\text{Hartridge} = 100[1 - 0.9545 \exp(-2.4226[C])].$$

По аналогичным эмпирическим зависимостям концентрация сажи  $[C]$  может быть переведена, в единицы шкалы Bosch, а также в единицы коэффициента абсолютного светопоглощения  $K, m_1$ .