

В. В. ЕВСТИГНЕЕВ¹, Ж. М. ИСАЕВА², Е. Б. МУКАЖАНОВ²

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Проблема экологического усовершенствования двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автотранспорта – одна из наиболее важных, поскольку именно автотранспорт токсичными выхлопными газами загрязняет атмосферу городов и наносит вред здоровью людей и природе.

О достаточности очистки газов в каталитических блоках нейтрализаторов и сажевых фильтров невозможно судить без контроля ее качества. Эффект дожигания продуктов неполного сгорания в пористых структурах фильтров в присутствии катализаторов обнаруживается по изменению температуры газов при прохождении их в присутствии катализаторов в пористой стенке.

В работе представлен метод определения массовой концентрации твердых частиц в потоке продуктов сгорания углеводородных топлив при фильтровании ее в пористых СВС-материалах.

Закон Ламберта–Бугера для луча монохроматического света, проходящего через поток твердых углеродистых частиц с плотностью распределения по размерам, запишем в виде [1]:

$$\frac{I_{(l+n)} - I_n}{I_l} = \exp \left[-\frac{\pi}{4} c_n \cdot L_k \times \int_0^{\infty} N(D_{TЧ}) K_{\lambda}(D_{TЧ}) D_{TЧ}^2 \cdot dD_{TЧ} \right], \quad (1)$$

где $I_{(l+n)}$, I_l , I_n – интенсивность излучения лазера и пламени, лазера, пламени соответственно при прохождении через полость нейтрализатора, заполненную твердыми сажевыми частицами; c_n – штучная концентрация твердых частиц; L_k – длина оптического канала; $D_{TЧ}$ – условный диаметр твердых частиц; K_{λ} – спектральный фактор ослабления света на длине волны λ лазера, которым индицируется полость нейтрализатора; N – функция распределения твердых частиц по условным средним диаметрам $D_{TЧ}$.

Массовая концентрация твердых частиц может быть получена по выражению

$$C_m = \frac{\pi}{6} c_n \cdot \gamma_c \cdot \int_0^{\infty} N(D_{TЧ}) \cdot D_{TЧ}^3 \cdot dD_{TЧ} \quad (2)$$

Объединяя формулы (1) и (2), получаем

$$C_m = \frac{2 \gamma_c \cdot D_{32}}{3 L_k \cdot K_m} \cdot \ln \frac{I_l}{I_{(l+n)} - I_n} \quad (3)$$

или

$$C_m = \frac{2 \gamma_c \cdot D_{32}}{3 \pi \cdot \Phi_m \cdot L_k} \cdot \ln \frac{I_l}{I_{(l+n)} - I_n}, \quad (4)$$

где

$$K_m = \frac{\int_0^{\infty} N(D_{TЧ}) K_{\lambda}(D_{TЧ}) D_{TЧ}^2 \cdot dD_{TЧ}}{\int_0^{\infty} N(D_{TЧ}) \cdot D_{TЧ}^2 \cdot dD_{TЧ}}; \quad (5)$$

$$D_{32} = \frac{\int_0^{\infty} N(D_{TЧ}) \cdot D_{TЧ}^3 \cdot dD_{TЧ}}{\int_0^{\infty} N(D_{TЧ}) \cdot D_{TЧ}^2 \cdot dD_{TЧ}} = \frac{m_3}{m_2}; \quad (6)$$

$$\Phi_m = \frac{K_m}{\rho_{32}}; \quad \rho_{32} = \frac{\pi D_{32}}{\lambda},$$

где K_m – средний фактор ослабления светового потока для конденсированной фазы; D_{32} – средний диаметр твердой частицы по Заутеру, мкм; m_2 , m_3 – моменты второй и третьей функций распределения твердых частиц по диаметрам; Φ_m – средняя величина дисперсии комплексного показателя преломления конденсированной фазы; ρ_{32} – параметр дифракции; γ_c – плотность твердых частиц, $\gamma_c = 1,8-2,1$ г/см³; λ – длина волны, мкм.

Исходя из работы [2] относительная концентрация твердых частиц, приведенная к оптической оси канала зондирования такова:

$$\bar{C} = \frac{D_p}{L_k} \ln \frac{I_l}{I_{(l+n)} - I_n}, \quad (7)$$

где D_p – полная длина при продольном или диаметр канала при поперечном зондировании.

Тогда выражение (2) принимает вид

$$C_m = \mu_c \cdot \bar{C} \text{ г/м}^3. \quad (8)$$

Здесь коэффициент μ_c определяет величину масштаба массовой концентрации твердых частиц:

$$\mu_c = \frac{2,3026 \cdot \gamma_c \cdot \lambda}{1,5 \cdot \Phi_m \cdot D_p} \text{ г/м}^3, \quad (9)$$

где размерность γ_c выражается в г/см^3 ; λ – в мкм; D_p – в м, или

$$\begin{aligned} \mu_c &= \frac{2,3026 \cdot \gamma_c \cdot \lambda}{1,5 \cdot \Phi_m \cdot D_p} \cdot \frac{D_p}{L_k} \cdot \ln \frac{I_l}{I_{(l+n)} - I_n} = \\ &= 1,535 \frac{\gamma_c \cdot \lambda}{\Phi_m \cdot L_k} \cdot \ln \frac{I_l}{I_{(l+n)} - I_n} \text{ г/м}^3. \end{aligned}$$

Для определения величины масштаба μ_c необходимо знать величину дисперсии комплексного показателя преломления света Φ_m конденсированной фазы. Слабая зависимость оптических констант углеродистых материалов в видимой области спектра подтверждена опытными данными. Например, для ацетиленовой и пропановой сажи, для интервала длин волн $\lambda = 0,44\text{--}0,81$ мкм, как следует из результатов измерений [3], показатель преломления изменяется в пределах $n = 1,56\text{--}1,57$, а показатель поглощения $x = 1,46\text{--}1,52$.

Суммарная дисперсия комплексного показателя преломления $m = n - ix$ в диапазоне волн $\lambda = 0,5\text{--}0,7$ мкм практически постоянна. Следо-

вательно, при практической реализации метода оптического зондирования полостей каталитических нейтрализаторов с пористыми СВС-блоками необходимо использовать источники света с длиной волн, находящихся в «красной» области спектра ($\lambda = 0,5\text{--}0,7$ мкм).

На основе теоретических исследований, изучения особенностей физических процессов при фильтровании конденсированных фаз разработан метод определения массовых концентраций твердых частиц в составе конденсированных фаз продуктов сгорания углеводородных топлив по результатам многоканального оптического зондирования полостей фильтров, позволяющий проводить измерения с погрешностью до 10–15%. Таким образом, методом зондирования внутренних полостей фильтров удается контролировать качество очистки конденсированной фазы от твердых частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лоскутов А.С. Исследование механизмов образования топливных окислов азота и сажи в цилиндре дизеля: Дис. ... канд. техн. наук. Л., 1983. 293 с.
2. Рабочие процессы дизелей / Арапов В.В., Вагнер В.А., Грехов Л.В. и др. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1995. 183 с.
3. Dalzell H.W., Sarofim A.F. Optical constants of soot and their applications to hear flux calculations: Trans. ASME. Ser. C. // Journ. of Heat Transfer. 1969. V. 91, N 1. P. 100-104.

¹Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул (Россия);

²Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск

Поступила 2.10.06г.