

ЧЕРНЕЦОВ Д.А., КАПУСТИН В.П.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация: в статье описана теоретическая и эмпирическая модели эффективности комбинированного устройства снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей и сделан вывод о применимости теоретической модели.

Ключевые слова: эффективность работы, отработавшие газы, вторичный дожиг, средства очистки.

CHERNETSOV DA, VP KAPUSTIN

PERFORMANCE COMBINED CONVERTER EXHAUST DIESEL

Abstract: This article describes the theoretical and empirical models of the combined device to reduce emissions diesel engine and concluded that the applicability of the theoretical model.

Keywords: efficiency, waste gases, secondary afterburning, cleaning tools.

На основании изучения последних достижений в области конструирования средств очистки отработавших газов (ОГ), опубликованных в научных изданиях, в ТГТУ на кафедре «Автомобильная и аграрная техника» разработана конструкция комбинированного устройства снижения токсичности КУСТ ОГ дизельных двигателей, основанная на вторичном дожиге ОГ [1].

Для оценки эффективности процесса очистки ОГ разработанным устройством были введены два удельных показателя: качества очистки ОГ и энергоёмкости устройства.

Удельный показатель качества очистки ОГ характеризует долю нейтрализованных токсичных компонентов, приходящуюся на килограмм топлива в единицу времени, и определяется как отношение степени очистки ОГ к массовому расходу топлива:

$$q_{\Delta G} = \frac{\left(\frac{G_{OG}^{вход} - G_{OG}^{вых}}{G_{OG}^{вход}} \right) \cdot 100\%}{G_T}, \text{ \%/(кг/ч)} \quad (1)$$

где $G_{OG}^{вход}$ - массовый расхода ОГ на входе в КУСТ, кг/ч;

$G_{OG}^{вых}$ - массовый расхода ОГ на

выходе из КУСТ, кг/ч;

G_T - массовый расход топлива, кг/ч.

Удельный показатель энергоёмкости устройства характеризует потери энергии в нейтрализаторе, приходящиеся на килограмм топлива в единицу времени, и определяется как отношение степени изменения давления ОГ в КУСТ к массовому расходу топлива:

$$q_{\Delta p} = \frac{\left(\frac{p_{OG}^{вход} - p_{OG}^{вых}}{p_{OG}^{вход}} \right) \cdot 100\%}{G_T}, \text{ \%/(кг/ч)} \quad (2)$$

где $p_{OG}^{вход}$ - давление ОГ на входе в КУСТ, Па; $p_{OG}^{вых}$ - давление ОГ на выходе из КУСТ, Па.

Теоретически изменение расхода ОГ в КУСТ без учёта сконденсированных газов определяется количеством ОГ, нейтрализованных в катализаторе в единицу времени:

$$\Delta G = k(T) \cdot \frac{\Delta C}{t} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2 \cdot H_p}{4},$$

где $k(T)$ - константа химической реакции; ΔC - изменение концентрации ОГ, в долях; t - время протекания химико-технологического процесса, ч; ρ -

плотность ОГ, кг/м³; D_p - диаметр реактора, м; H_p - высота реактора (высота слоя засыпки катализатора).

Теоретические потери давления в устройстве определяются по формуле:

$$\Delta p = \xi_{\text{ОБЩ}} \cdot \frac{\rho \cdot v}{2},$$

где $\xi_{\text{ОБЩ}}$ - общий коэффициент газодинамического сопротивления устройства; v - средняя скорость ОГ в КУСТ, м/с.

Таким образом, введя показатели, можно говорить об оценке эффективности нейтрализатора ОГ.

Эффективность нейтрализатора ОГ характеризует работу устройства и показывает, во сколько раз удельная степень очистки ОГ нейтрализатором от токсичных компонентов превышает удельную степень повышения противодавления в нём и определяется отношением показателя качества очистки (1) к показателю энергоёмкости (2):

$$\mathcal{E}_{\text{КУСТ}} = \frac{q_{\Delta G}}{q_{\Delta p}}, \frac{\% / (\text{кг} / \text{ч})}{\% / (\text{кг} / \text{ч})} \quad (3)$$

Возможны два варианта показателя эффективности КУСТ ОГ, по которым проводится оценка работы устройства:

1. $\mathcal{E}_{\text{КУСТ}} > 1$ - значит, степень снижения токсичных компонентов превышает степень повышения противодавления в КУСТ, то есть устройство эффективно работает.

2. $\mathcal{E}_{\text{КУСТ}} \leq 1$ - в этом случае показатель энергоёмкости равен или выше показателя качества очистки, то есть устройство не эффективно.

Для проверки теоретической модели эффективности устройства на кафедре «Автомобильная и аграрная техника» ТГТУ были проведены испытания экспериментального КУСТ,

установленного на автомобиле КАМАЗ-53212 с двигателем КАМАЗ-740. Испытания проводились на стационарном универсальном тормозном стенде СТС-13У-СП-11 согласно [2, 3].

По результатам испытаний были получены адекватные уравнения регрессии второго порядка для удельных показателей качества очистки ОГ и энергоёмкости нейтрализатора:

$$y_1 = 0,02773 - 0,00275 \cdot x_1 + 0,004 \cdot x_2 - 0,00475 \cdot x_3 - 0,00025 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,00025 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,00025 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,00001 \cdot x_1^2 + 0,00051 \cdot x_2^2 + 0,00051 \cdot x_3^2 \quad (4)$$

$$y_2 = 0,16687 + 0,008 \cdot x_1 + 0,00425 \cdot x_2 - 0,02075 \cdot x_3 - 0,00025 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,00025 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,00025 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,00044 \cdot x_1^2 + 0,00144 \cdot x_2^2 - 0,00306 \cdot x_3^2 \quad (5)$$

Раскодируя выражения (4) и (5) была получена эмпирическая модель удельных показателей эффективности работы КУСТ:

$$q_{\Delta p} = 0,04311 - 0,13 \cdot D_p + 0,0538 \cdot H_p - 2,43 \cdot d_z - 0,25 \cdot D_p \cdot H_p + 4,17 \cdot D_p \cdot d_z - 1,67 \cdot H_p \cdot d_z + 0,025 \cdot D_p^2 + 0,204 \cdot H_p^2 + 56,67 \cdot d_z^2 \quad (6)$$

$$q_{\Delta G} = 0,16259 + 0,2425 \cdot D_p - 0,0728 \cdot H_p - 2,67 \cdot d_z - 0,25 \cdot D_p \cdot H_p - 4,17 \cdot D_p \cdot d_z + 1,67 \cdot H_p \cdot d_z + 1,1 \cdot D_p^2 + 0,576 \cdot H_p^2 - 340 \cdot d_z^2 \quad (7)$$

где d_z - диаметр гранулы катализатора, м.

В результате были рассчитаны теоретические удельные показатели по формулам (1), (2), эмпирические по выражениям (6) и (7) и представлены на рисунке 1.

Анализ рисунка 1 показывает, что показатели эффективности работы КУСТ по эмпирической модели превышают значения по теоретической модели: удельный показатель энергоёмкости выше на 5%; удельный показатель качества очистки ОГ на 9,4%.

Высокую относительную ошибку показателя качества очистки ОГ можно объяснить тем, что теоретическая модель составлена без учёта массы сконденсированных отработавших газов.

Из рисунка 2 видно, что эффективность работы КУСТ, полученная по эмпирической модели превышает теоретическую на 4,4%. Так как эффективность устройства по теоретической модели занижена, то истинное её значение можно определить как:

$$\mathcal{E} = k \cdot \mathcal{E}_{теор},$$

где $\mathcal{E}_{теор}$ - теоретическая эффективность работы нейтрализатора, рассчитанная по формуле (3);

k - коэффициент запаса эффективности, показывающий во сколько раз эффективность устройства по эмпирической модели превышает эффективность по теоретической модели. В нашем случае $k = 1,044$.

Таким образом, проведя сравнительный анализ теоретической и эмпирической модели эффективности работы нейтрализатора ОГ дизельных ДВС можно сказать, что теоретическая модель применима при проектировании устройств очистки ОГ от токсичных компонентов.



Рисунок 1 – Показатели эффективности работы КУСТ по теоретической и эмпирической моделям

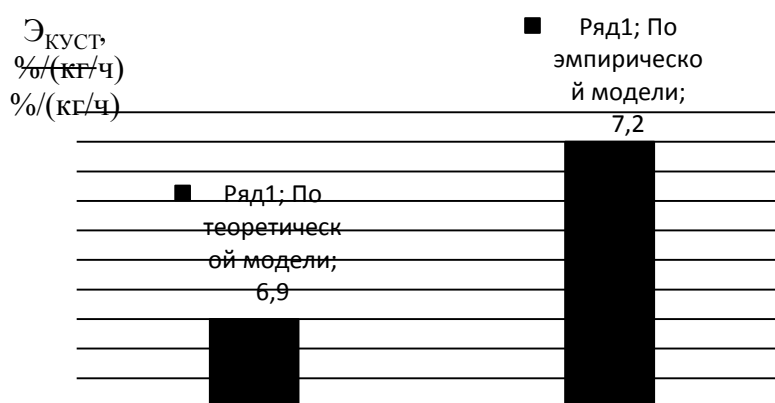


Рисунок 2 – Эффективность работы КУСТ по теоретической и эмпирической моделям

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ № 2459091. Комбинированное устройство снижения токсичности отработавших газов дизеля/ Д.А. Чернецов, В.П. Капустин, А.В. Гончаров. Заявл. 25.10.2010. Опубл. 27.04.2012.
2. ГОСТ 17.2.2.01-84 Охрана природы. Атмосфера. Дизели автомобильные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений – М.: Изд. стандартов, 1984. – 6 с.
3. ГОСТ Р 41.24-2003 Единообразные предписания, касающиеся: I. Сертификации двигателей с воспламенением от сжатия в отношении дымности; II. Сертификации автотранспортных средств в отношении установки на них двигателей с воспламенением от сжатия, сертифицированных по типу конструкции; III. Сертификации автотранспортных средств с двигателями с воспламенением от сжатия в отношении дымности; IV. Измерение мощности двигателей. – М.: Изд. стандартов, 2006. – 40 с.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Чернецов Дмитрий Александрович – аспирант кафедры Автомобильная и аграрная техника, ФГБОУ ВПО ТГТУ, г. Тамбов, Россия, E-mail: Black777780@mail.ru. Телефон: 8-910-851-20-89, 77-73-57.

Капустин Василий Петрович – д.т.н., профессор кафедры Автомобильная и аграрная техника, ФГБОУ ВПО ТГТУ, г. Тамбов, Россия. Телефон: 53-52-73.

РЕЦЕНЗЕНТ

Князева Лариса Геннадьевна, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатории организации хранения и защиты техники от коррозии ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии.