

Pischinger // *Motortechnische Zeitschrift*. – 2010 (71). – Nr 07–08. – S. 524 – 531.

Bibliography (transliterated):

1. Zvonov V.A. Ocenka i kontrol' vybrosov dispersnyh cha-stic s otrabotavshimi gazami dizelej / V.A. Zvonov, G.S. Kornilov, A.V. Kozlov, E.A. Simonova. – M.: Prima-Press-M, 2005. – 312 s. 2. Grünzweig Ch. Visualisierung der Russ- und Ascheverteilung mittels Neutronen-Imaging / Ch. Grünzweig, D. Mannes, A. Kaestner, M. Vogt // *Motortechnische Zeitschrift*. – 2012 (73). – Nr. 4. – S. 326–331. 3. Pre-del'no dopustimye koncentracii vrednyh veshhestv v vozduhe i vode. Izd. 2-e, per. i dop. – L.: Himija, 1975. – 456 s. 4. Olejnik N.V. Vlijanie sodержaniya tjazhelyh metallov v toplivah rastitel'nogo proishozhdenija na vrednye vy-brosy s otrabotavshimi gazami dizelej / N.V. Olejnik, L.G. Zubova, I.P. Vasil'ev // *Visn. Shidnokr. nac. un-tu imeni Volodimira Dalja*. – Lugansk, 2007. – Ch. 1.– № 8 (114). — S. 161 – 165. 5. Krahl J. Fuel economy and environmental characteristics of biodiesel and low sulfur fuels in diesel engines / J. Krahl, A. Munack, O. Schröder, H. Stein, A. Hasaneen // *Landbauforschung Völkenrode*. – 2005 (55). – Nr 2. – S. 99–106. 6. Mayer A.C.R. Qualitätsstandards und Prüfverfahren für

Partikelfilter / A.C.R. Mayer, Jan Czerwinski, M. Kasper, G. Leutert, N. Heeb, A. Ulrich, F. Jaussi // *Motortechnische Zeit-schrift*. – 2009 (70). – Nr. 11. – S. 72-79. 7. Zvonov V.A. Ocenka vybrosa tverdyyh chastic s otrabotavshimi gazami avtotraktornogo dizelja / V.A. Zvonov, A.P. Marche-nko, I.V. Parsadanov, A.P. Polivjanчук I.V. // *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: sb. st. NTU «HPI»*. – H., 2006. – № 2. – S. 64-67. 8. Polivjanчук A.P. Doslidzhennja vikidiv tve-rdih chastinok z vidprac'ovanimi gazami na stacionarnih ta nestacionarnih rezhimah roboti avtotraktornogo dizelja / A.P. Polivjanчук, S.V. Zubov, S.A. L'vov // *Materia-li XVI mizhnar. nauk.-prakt. konf. «In-formacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja», NTU «HPI»*. – Harkiv, 2008. – Ch 1. – S. 177. 9. Pac R.G. Poljaro-grafija / R.G. Pac // *BSJe / M.: Sovetskaja jenciklope-dija, 1975. –T. 20. – S. 340–341. 10. Solov'eva T.V. Rukovodstvo po metodam opredelenija vrednyh veshhestv v atmosfernom vozduhe / T.V. Solov'eva, V.A. Hrustaleva. – M.: Medicina, 1974. – 300 s. 11. Fiebig M. Einflüsse motorischer Betriebspa-rameter auf die Reakti-vität von Dieseleruss /M. Fiebig, M. Schönen, U. Grütering, S. Pischinger // *Motortechnische Zeit-schrift*. – 2010 (71). – Nr 07–08. – S. 524 – 531.*

Поступила в редакцию 07.05.2013

Парсаданов Игорь Владимирович – доктор техн. наук, главный научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua

Васильев Игорь Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры двигателя внутреннего сгорания Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, Луганск, Украина, e-mail: vasilevkr@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ СОСТАВА ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛІВ

I.V. Parsadanov, I.P. Vasyliev

Розглянуто особливості визначення складу і властивостей твердих частинок відпрацьованих газів дизелів. Наведено результати аналізів твердих частинок на вміст важких металів і вуглецевої фракції. Вуглецева фракція визначалася фотометричним методом з використанням спеціальних фільтрів, попередньо розчинених у діхлоретане. Вміст металів визначалося ртутної полярографією. Виявлено, що зі збільшенням навантаження концентрації металів у твердих частках відпрацьованих газів дизелів підвищуються.

DEFINITION OF COMPOSITION OF PM OF DIESEL'S EXHAUST GASES

I.V. Parsadanov., I.P. Vasyliiev

Features of determination of the composition and properties of particulate matters in the exhaust gases of diesel engines are considered. The results of the analysis of particulate matters on the content of heavy metals and carbon fraction are presented. The carbon fraction was determined by the photometric method with the use of special filters, previously pre-dissolved in dichloromethane. The metal content was determined using the method of mercury polarography. It was revealed that if engine load has increased the concentration of metals in particulate matter of diesel's exhaust gases has also increased.

УДК 621.43.068

А.П. Поливянчук, С.А. Львов

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ САЖЕВОГО ФИЛЬТРА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ СЧЕТНОЙ, ПОВЕРХНОСТНОЙ И МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

Предложена методика комплексной оценки эффективности работы сажевого фильтра дизеля по трем критериям: счетной, поверхностной и массовой концентрациям твердых частиц с учетом их дисперсного состава. Приведены результаты оценки эффективности сажевого фильтра дизеля грузового автомобиля с использованием предложенной методики.

Введение

Сажевые фильтры являются наиболее распространенным средством нейтрализации дизельных твердых частиц (ТЧ) – второго по значимости (после оксидов азота NO_x) загрязняющего вещества в

выхлопе дизеля [1]. Для оценки эффективности работы фильтра традиционно используют критерий относительного снижения массовой концентрации – C_m (или выброса) ТЧ в результате процесса фильтрации. Данный подход к оцениванию эффектив-

ности сажевых фильтров не является совершенным, так как он не учитывает изменений счетной – C_n (количество ТЧ в единице объема) и поверхностной – C_s (суммарная площадь поверхности ТЧ в единице объема) концентраций ТЧ. При этом величины C_n и C_s являются важными токсикологическими показателями, характеризующими степень негативного влияния дизельных частиц на организм человека и окружающую среду. Как показывает ряд исследований [2-4], сажевые фильтры с высокой эффективностью, определенной по критерию C_m , пропускают значительное количество мелкодисперсных частиц, в том числе наиболее опасных – наночастиц (с диаметром менее 50 нм [5,6]), обладающих высокой проникающей способностью в систему дыхания человека. В статье предлагается комплексный подход к оцениванию эффективности сажевых фильтров с использованием 3-х критериев - величин C_m , C_n и C_s .

Постановка задачи

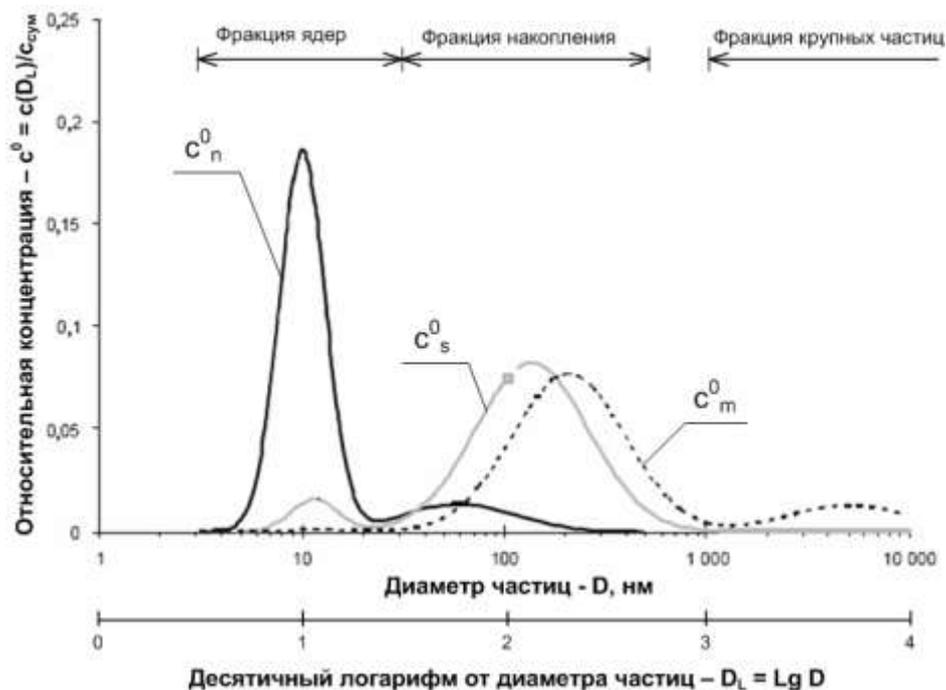


Рис. 1. Функции плотностей распределения относительных счетной, поверхностной и массовой концентраций ТЧ

При рассмотрении дисперсного состава ТЧ выделяют 3 диапазона размеров частиц: фракцию ядер – 3...30 нм; фракцию накопления – 30...500 нм и фракцию крупных частиц – диаметр более 1000 нм (1 мкм). Представленные на рис. 1 графики функций плотностей распределения относительных счетной, поверхностной и массовой концентраций ТЧ - c_n^0 , c_s^0 и c_m^0 отражают следующие свойства дизельных частиц:

- на фракцию ядер приходится наибольшее

Целью исследований являлось комплексное оценивание эффективности сажевых фильтров дизелей по показателям счетной, поверхностной и массовой концентраций ТЧ с учетом их дисперсного состава. Для достижения данной цели решены следующие задачи: 1) анализ экспериментальных данных о количестве, площади поверхности и массе дизельных частиц различных размеров; 2) разработка методики комплексной оценки эффективности сажевого фильтра; 3) исследование эффективности работы фильтра с использованием разработанной методики.

Экспериментальные данные о значениях величин C_m , C_n и C_s

Результаты экспериментальных исследований о влиянии размеров частиц на счетную, поверхностную и массовую концентрации, обобщенные для разных типов дизелей, представлены на рис. 1 [6].

- количество ТЧ – 90 % от общего количества, 20 % суммарной площади поверхности и 5 % от общей массы; при этом 80 % частиц и 15 % суммарной поверхности приходится на диапазон 10 ± 5 нм, в котором кривые c_n^0 и c_s^0 имеют максимум;

- относительные доли частиц фракции накопления составляют: 20 % от общего количества, 80 % от суммарной площади поверхности и 85 % от общей массы; в данной фракции наибольшее количество частиц (12 %) находится в диапазоне

30...100 нм, кривые c_s^0 и c_m^0 принимают максимальные значения в диапазонах 100...200 нм и 150...300 нм, соответственно;

- фракция крупных частиц характеризуется наименьшими значениями численности – 2 %, суммарной площади поверхности – 1 % и массы – 4%.

Данные, представленные на рис. 1, кроме информации о значениях функций c_n^0 , c_s^0 и c_m^0 , отражают их соотношение и позволяют по изменению одной функции оценивать изменения двух других. Данное свойство использовалось при разработке представленной ниже методики.

Методика комплексной оценки эффективности сажевого фильтра

Предлагается оценивать эффективность применения фильтра по 3-м показателям относительного снижения счетной, поверхностной и массовой концентраций, определяемых с помощью следующей обобщенной формулы:

$$\mathcal{E}_p = \frac{(C_p)_{n/f} - (C_p)_f}{(C_p)_{n/f}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где \mathcal{E}_p – эффективность фильтра по показателю p , под которым понимают: количество – n , поверхность – s или массу – m ТЧ; $(C_p)_{n/f}$ и $(C_p)_f$ – суммарные относительные концентрации частиц, находящихся в рассматриваемом диапазоне размеров, при отсутствии сажевого фильтра и при его использовании.

Для определения величин C_p используется формула:

$$C_p = \int_{D_{L1}}^{D_{L2}} c_p(D_L) \cdot dD_L, \quad (2)$$

где D_{L1} , D_{L2} – начальное и конечное значения интервала размеров (диаметров) ТЧ по шкале десятичных логарифмов; $c_p(D_L)$ – функция плотности распределения показателя p .

Функция $c_p(D_L)$ определяется на основе обобщенных функций распределения c_n^0 , c_s^0 и c_m^0 , представленных на рис. 1, а также известной экспериментальной функции распределения одного из показателей (обозначаемого p^*) – $c_{p^*}^r(D_L)$:

$$c_p(D_L) = K_r(D_L) \cdot K_p(D_L) \cdot c_{p^*}^r(D_L), \quad (3)$$

где $K_r(D_L)$ – функция коррекции экспериментальных данных; $K_p(D_L)$ – функция перехода от показателя p^* к показателю p .

Функции K_r и K_p находятся с помощью выражений:

$$K_r(D_L) = \frac{c_{p^*}^r(D_L)}{c_p^0(D_L)}; \quad (4)$$

$$K_p(D_L) = \frac{c_p^0(D_L)}{c_{p^*}^0(D_L)}, \quad (5)$$

где $c_{p^*}^0(D_L)$ – обобщенное значение функции плотности распределения для показателя p ; $c_p^0(D_L)$ – обобщенное значение функции плотности распределения для показателя p^* .

Так, например, если известна экспериментальная зависимость $c_n^r(D_L)$, то определяемая с помощью выражения (3) функция плотности распределения массовой концентрации имеет вид:

$$c_m(D_L) = K_r(D_L) \cdot K_m(D_L) \cdot c_n^r(D_L) = \frac{c_n^r(D_L)}{c_n^0(D_L)} \cdot \frac{c_m^0(D_L)}{c_n^0(D_L)} \cdot c_n^r(D_L)$$

Результаты исследований и их анализ

С помощью предложенной методики проведена комплексная оценка эффективности сажевого фильтра дизеля грузового автомобиля, для которого была известна зависимость счетной концентрации от размера частиц [3] (рис. 2).

В исследуемом диапазоне размеров частиц – 20...600 нм выделены два участка: 1-й – 20...40 нм – участок, на котором наблюдалось увеличение счетной концентрации после применения фильтра, и 2-й – 40...600 нм - участок, на котором счетная концентрация снижалась.

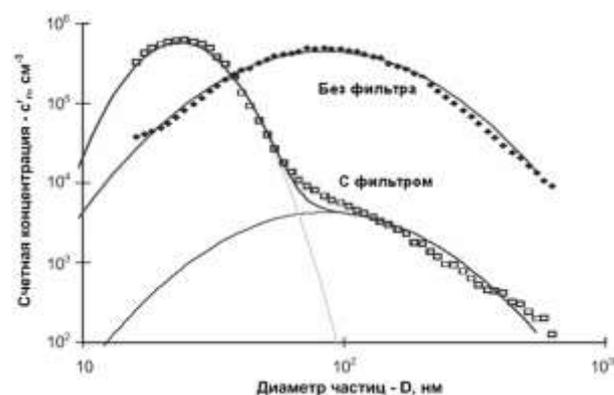


Рис. 2. Результаты экспериментальных исследований счетной концентрации ТЧ

На рис. 3 и 4 представлены результаты определения функций c_s и c_m , полученные с помощью выражения (3), и показателей эффективности фильтра, вычисленных с помощью выражения (1). При вычислении интегралов (2) использовался метод трапеций [7].

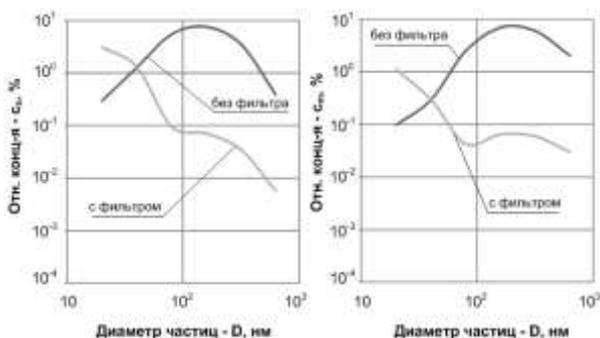


Рис. 3. Значения функций плотностей распределения c_s и c_m для исследуемого фильтра

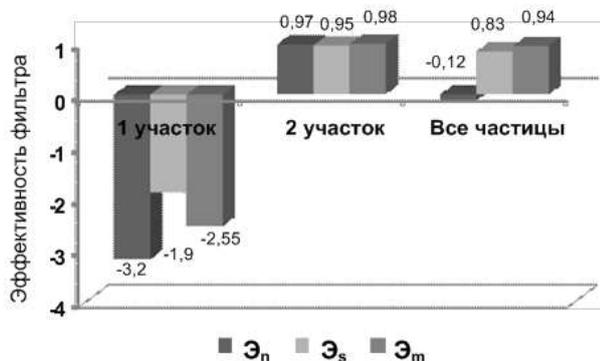


Рис. 4. Показатели эффективности исследуемого сажевого фильтра

Результаты исследований показывают:

- количество ТЧ: на 1-м участке - возрастает в 4,2 раза, на 2-м участке – уменьшается в 30,5 раз, во всем диапазоне – увеличивается на 12 %;

- площадь поверхности частиц: на 1-м участке - увеличивается в 2,9 раза, на 2-м участке – уменьшается в 18,2 раза, во всем диапазоне – снижается в 5,9 раза;

- масса ТЧ: на 1-м участке - возрастает в 3,55 раза, на 2-м участке – уменьшается в 49,1 раза, во всем диапазоне – снижается в 16,1 раза.

Таким образом, при значительном уменьшении суммарной поверхности и массы всех частиц общее их количество возрастает за счет увеличения числа мелкодисперсных частиц с размерами 20...40 нм. При этом относительная доля таких частиц при прохождении через фильтр возрастает с 26% до 98%.

Вывод

При оценивании эффективности работы сажевых фильтров необходимо учитывать фракционный состав улавливаемых частиц. Комплексная оценка

эффективности исследуемого фильтра показала, что при значительном снижении массовой концентрации полного потока ТЧ – на 93,8 % существенно возросли количество – в 4,2 раза, площадь поверхности – в 1,9 раза и масса – в 2,55 раза мелкодисперсных частиц с размерами 20...40 нм.

Список литературы:

1. Поливянчук А.П. Исследование степени токсичности вредных веществ, выбросы которых нормируются европейскими экологическими стандартами / А.П. Поливянчук, Е.Ю. Цепак, Е.Ю. Титова // Вестник Национального технического университета „ХПИ”. – 2007. - №2. – С. 112-115. 2. Mayer A. VERT: Curtailing emissions of diesel engines in tunnel sites // Technical reports. - April 1998. - 13 pp. 3. Burtcher H. Literature Study on Tailpipe Particulate Emission Measurement for Diesel Engines / H. Burtcher // done for the Particle Measurement Programme (PMP) for BUWAL / GRPE . Fachhochschule Aargau, University of Applied Science, Windisch, Switzerland. - March 2001. – 45 p. 4. Звонов В.А. Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В.А. Звонов, Г.С.Корнилов, А.В. Козлов, Е.А. Симонова // М.: Издательство Прима-Пресс-М, 2005. – 312 с. 5. Health assessment document for diesel engine exhaust / EPA/600/8-90/057F. - National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. - Washington, DC. - May 2002. — 669 p. 6. Kittelson D.B. Review of diesel particulate matter sampling methods: Final Report / D.B. Kittelson, A. Megan, W.F. Watts // University of Minnesota, Minneapolis, MN. - 1999. — 63 p. 7. Стенцель Й.І. Метрологія та технологічні вимірювання в хімічній промисловості, аналітичні прилади та методи контролю / Стенцель Й.І. // Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2001. – 269 с.

Bibliography (transliterated):

1. Polivyanchuk A.P. Issledovanie stepeni toksichnosti vrednykh veshhestv, vybrosy kotorykh normiruyutsya evropejskimi ekologicheskimi standartami / A.P. Poli-vyanchuk, E.Yu. Shhepak, E.Yu. Titova // Vestnik Nacional-nogo texnicheskogo universiteta „XPI”. – 2007. - №2. – S. 112-115. 2. Mayer A. VERT: Curtailing emissions of diesel engines in tunnel sites // Technical reports. - April 1998. - 13 pp. 3. Burtcher H. Literature Study on Tailpipe Particulate Emission Measurement for Diesel Engines / H. Burtcher // done for the Particle Measurement Programme (PMP) for BUWAL / GRPE . Fachhochschule Aargau, Uni-versity of Applied Science, Windisch, Switzerland. - March 2001. – 45 r. 4. Zvonov V.A. Ocenka i kontrol vybrosov dispersnyx chastic s otrabotavshimi gazami dizelej / V.A. Zvonov, G.S.Kornilov, A.V. Kozlov, E.A. Simonova // M.: Izdatelstvo Prima-Press-M, 2005. – 312 s. 5. Health assessment document for diesel engine exhaust / EPA/600/8-90/057F. - National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, U.S. En-vironmental Protection Agency. - Washington, DC. - May 2002. — 669 p. 6. Kittelson D.B. Review of diesel particulate matter sampling methods: Final Report / D.B. Kittelson, A. Megan, W.F. Watts // University of Minnesota, Minnea-polis, MN. - 1999. — 63 p. 7. Stencil J.I. Metrologiya ta texnologichni vимiryuvannya v ximichnij promislovosti, analitichni priladi ta metodi kontrolyu / Stencil J.I. // Lugansk: Vid-vo SNU im. V. Dalya, 2001. – 269 s.

Поступила в редакцию 27.06.2013

Поливянчук Андрей Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологии, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск, Украина, uni@snu.edu.ua, (0642) 34-18-36.

Львов Сергей Александрович – старший преподаватель кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск, Украина, uni@snu.edu.ua, (0642) 34-18-36.

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ САЖОВОГО ФІЛЬТРУ ПО ПОКАЗНИКАМ ЛІЧИЛЬНОЇ, ПОВЕРХНЕВОЇ ТА МАСОВОЇ КОНЦЕНТРАЦІЙ ДИСПЕРСНИХ ЧАСТИНОК

А.П. Полів'янчук, С.О. Львов

Запропоновано методику комплексної оцінки ефективності роботи сажового фільтру дизеля за трьома критеріями: лічильної, поверхневої та масової концентрацій твердих частинок з урахуванням їх дисперсного складу. Наведено результати оцінки ефективності сажового фільтру дизеля вантажного автомобіля з використанням запропонованої методики.

A COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE PARTICULATE MATTER FILTER IN TERMS OF THE COUNTING, SURFACE AND MASS CONCENTRATIONS OF PARTICULATE MATTER

A.P. Polivianchuk, S.A. Lvov

The technique of comprehensive performance of the diesel's particulate matter filter according to three criteria: the counting, surface and mass concentrations of particulate matter in view of their dispersion composition is offered. The results of the evaluation of the effectiveness of the diesel particulate matter filter for diesel truck using the proposed methodology is presented.

УДК 621.43.016

В.С. Морозова, В.С. Гун, В.Л. Поляцко

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ САЖИ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СГОРАНИЯ

Предложен метод определения содержания сажи в отработавших газах (ОГ) как инструмент снижения дымности дизеля. Показана возможность оценить влияние конструктивных и эксплуатационных параметров дизеля и регулятора на содержание сажи в ОГ, и, соответственно, скорректировать цикловую подачу на установившихся и переходных режимах. При этом определяется в каждом конкретном случае (цикле) минимальный коэффициент избытка воздуха, при котором дымность ОГ не выходит за нормативные пределы. Соответствующая математическая модель с достаточной точностью позволяет оценить влияние конструктивных параметров электронного регулятора и дизеля на содержания сажи в ОГ в переходном процессе при увеличении или уменьшении нагрузки еще на стадии проектирования и доводки. Приведены данные экспериментальных исследований.

Введение

Эффективность процесса сгорания характеризуется полнотой использования теплоты, введенной с топливом. Этот процесс оценивается коэффициентом эффективности сгорания ξ , который представляет собой отношение теплоты Q_i , потраченной на изменение внутренней энергии рабочего тела и совершения полезной работы, ко всей теплоте Q , вносимой топливом. Теплота Q частично теряется из-за неполного сгорания, тогда выделяемая теплота $Q_{\text{выд}} = \delta \cdot Q$, где δ - коэффициент выделения теплоты. Неполнота сгорания определяет токсичность ОГ (за исключением оксидов азота) и интенсивность образования сажи из-за неполного сгорания углерода. Часть выделившейся теплоты $Q_{\text{выд}}$ теряется вследствие диссоциации продуктов сгорания и теплообмена со стенками. Эти потери оцениваются коэффициентом использования теплоты Ψ , т.е. $Q_i = \Psi Q_{\text{выд}} = \delta \Psi Q$, а $\zeta = \delta \Psi$. Особенность предлагаемого

алгоритма состоит в том, что он позволяет без записи индикаторных диаграмм оценивать параметры рабочего цикла дизеля, характеризующие его экологические и экономические показатели на переходных и установившихся режимах работы. Для подтверждения теории были проведены испытания электронной системы автоматического регулирования (САРЧ) подачи топлива в зависимости от заданной величины частоты вращения коленчатого вала и изменения нагрузки.

Электронная САРЧ была установлена на тракторе Т-170.

Теоретическое обоснование расчетного метода

Математическая модель, описанная в статье, позволяет определить содержание сажи в ОГ, связь коэффициента эффективности сгорания дизеля ξ с коэффициентом наполнения η_v давлением и температурой наддувочного воздуха P_k, T_k и ко-