

УДК 621.431.73

КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПРИ ЕГО УПРАВЛЕНИИ ПО КАНАЛУ РАЗРЯДНОГО ТОКА© 2010 Н. Е. Конюхов¹, П. А. Николаев², Р. Р. Соешев²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)
²ОАО «АВТОВАЗ»

Статья посвящена исследованиям качественных показателей автомобильных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) принудительного зажигания. В работе рассмотрены вопросы, связанные с изменением расхода топлива и количества выхлопных газов при управлении режимами работы ДВС по каналу разрядного тока. Приведены результаты экспериментальных исследований качественных показателей серийных, а также перспективных поршневых двигателей. Дана комплексная оценка эффективности управления ДВС по уровню излучаемых электромагнитных помех.

Автомобиль, двигатель, топливо, помехи.

В настоящее время широкое развитие и применение техники приводит к тому, что её побочные продукты отрицательно влияют на жизнедеятельность человека и окружающую среду. Примерами техногенных отходов являются шум, загазованность, вибрация, электромагнитное поле (ЭМП) и др. Влияние этих продуктов наиболее наглядно сказывается в крупных мегаполисах. Несмотря на то, что требования международных норм, направленные на снижение и ограничение каждой составляющей техногенных отходов жёстко регламентированы, однако это не даёт в своей интегральной оценке желаемого результата. Такая ситуация связана, прежде всего, как с увеличением количества применяемой техники, так и с её ресурсным износом. Это наглядно просматривается на примере электромагнитного фона, созданного потоком автотранспорта. В [1] показано, что увеличение излучения от автомобиля, отработавшего заводской ресурс, составляет до 10 дБ. Такая временная нестабильность электромагнитного поля присуща, прежде всего, основному источнику помех, а именно системе зажигания [2] - [4]. Это связано с изменением электрических характеристик высоковольтного контура устройства воспламенения воздушно-топливной смеси, например, с увеличением искрового зазора свечи, что приводит к возрастанию тока в

ёмкостной фазе разряда, а следовательно, и излучения. Причём характеристики пассивных помехоподавляющих систем также ухудшаются со временем [5]. Например, коррозия элементов экранирующих устройств в местах их контакта с нулевым потенциалом двигателя или кузова автомобиля, а также изменение сопротивления как свечей зажигания, так и высоковольтных проводов с проводником на углеродной основе.

Для обеспечения норм ГОСТ Р 41.10-99 и международного правила R10-02 по предельнодопустимому уровню электромагнитного поля в спектральном диапазоне $f \in [30; 1000]$ МГц при непрерывной эксплуатации транспортных средств предложен активный метод уменьшения ЭМП, основанный на управлении режимами работы двигателя внутреннего сгорания [6]. Такое регулирование осуществляется изменением оборотов ДВС. На рисунке 1 представлена динамика изменения нормированной мощности сигнала в высоковольтном контуре системы зажигания и мощности сигнала, наведённого электромагнитным полем в антенно-фидерной системе от частоты вращения коленчатого вала при работе двигателя в холостом режиме. Такие исследования проводятся на базе испытательной лаборатории ОАО «АВТОВАЗ» (рис. 2).

Управление ДВС, обеспечивающее снижение уровня излучения, является дополнительной аварийной функцией и устанавливается в ранг приоритетных до приведения в соответствие с техническими требованиями на электрические параметры устройства принудительного воспламенения воздушно-топливной смеси. При этом оптимальный рабочий диапазон регулирования определён в области частот вращения коленчатого вала $n \in [850; 1500]$ мин⁻¹, в котором отношение минимальной и максимальной мощностей ЭМП составляет 2,5 раза. При дальнейшем увеличении оборотов скорость изменения сигнала уменьшается и управление становится менее эффективным.

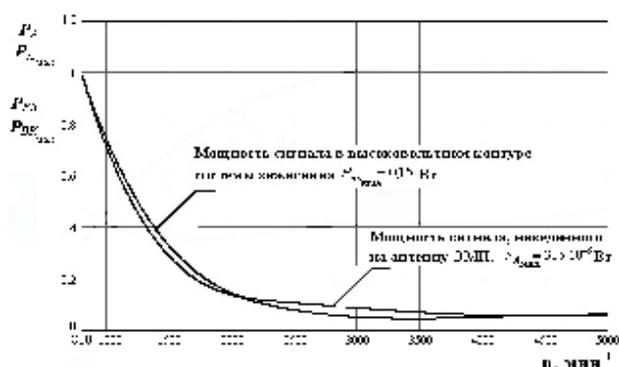


Рис. 1. Динамика изменения мощности сигнала в высоковольтном контуре системы зажигания и мощности сигнала, наведённого электромагнитным полем в антенно-фидерной системе от оборотов ДВС при работе на холостом ходу

Однако несмотря на то, что в процессе достигаются оптимальные регулировочные характеристики по амплитудно-частотному распределению излучения, необходима многопараметрическая оценка системы с целью определения показателей ДВС. Это, прежде всего, расход топлива и массовая доля отработанных газов. Эффективность оценки системы управления проведена в процессе экспериментальных исследований как отечественных серийных автомобилей ВАЗ 11183 с двигателем ВАЗ 21114, так и перспективных ВАЗ 2116 с силовым агрегатом ВАЗ 21126. Измерение расхода топлива проводилось на базе испытательных лабораторий ОАО «АВТОВАЗ» при работе транспортных средств на

динамометрическом стенде ф. SCHENCK. Результаты экспериментов показаны на рисунке 3. В качестве прибора, измеряющего объём V (мм³) потребляемого топлива в единицу времени, применён расходомер «ONO SOKKI». Массовый расход топлива рассчитывается как:

$$G_t = \frac{3.6 \times \rho (\text{г/м}^3) \times V (\text{мм}^3)}{t (\text{сек})} (\text{кг/час}), \quad (1)$$

где $\rho=0,75$ – плотность бензина, V – объём потребляемого топлива в единицу времени t .



Рис. 2. Испытательная камера лаборатории исследования электромагнитной совместимости ОАО «АВТОВАЗ»

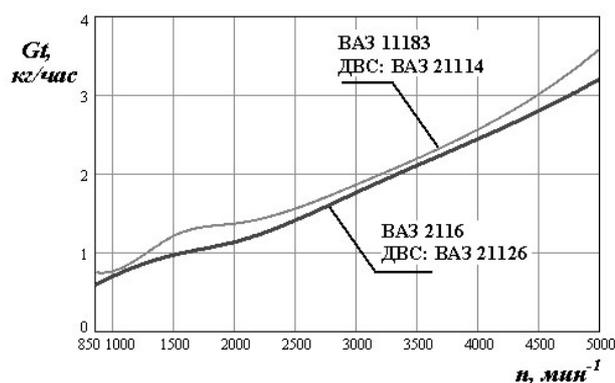


Рис. 3. Результаты измерения расхода топлива ДВС при работе на холостом ходу

Из анализа экспериментальных исследований следует, что относительное увеличение потребляемой количественной доли бензина в диапазоне частот вращения коленчатого вала $n \in [850; 1500]$ мин⁻¹ определяется:

$$N = G_{t_{n=1500}} / G_{t_{n=850}}. \quad (2)$$

Для ДВС ВАЗ 21114 эта величина составляет $N_{\text{ВАЗ21114}}=1.64$, а для ВАЗ 21126 – $N_{\text{ВАЗ21126}}=1.2$, при отношении граничных пределов области управления силовым агрегатом по уровню электромагнитного поля: $K = 1500 \text{ мин}^{-1} / 850 \text{ мин}^{-1} = 1.77$.

Меньший расход топлива у двигателя, установленного на автомобиль ВАЗ 2116, по сравнению с двигателем, установленным на транспортное средство ВАЗ 11183, объясняется применением в первом ДВС облегчённой шатунно-поршневой группы.

В существующих методиках определение массовой доли отработанных газов, таких как CO , CO_2 , NO_x и CH , образующихся в результате сгорания воздушно-топливной смеси, осуществляется согласно зависимости, являющейся функцией пройденного расстояния от времени. Такой подход не учитывает особенностей работы двигателей, работающих длительный период на холостом ходу. Эта ситуация, например, характерна для крупных населённых пунктов. Поэтому при определении выходных показателей системы управления ДВС, обеспечивающей снижение уровня электромагнитного излучения, введена величина относительной доли отработанных газов G_{m_i} являющаяся функцией массы $i^{\text{го}}$ соответствующего компонента продукта сгорания к оборотам двигателя, и определяется выражением

$$G_{m_i} = \frac{60\varphi_m(t)}{n}, \quad (3)$$

где n – обороты двигателя (мин^{-1}); $\varphi_m(t)$ – зависимость массы каждой газовой составляющей выхлопа от времени (грамм/сек):

$$\varphi_m(t) = \frac{dm}{dt}. \quad (4)$$

При работе системы управления ДВС, обеспечивающей снижение уровня электромагнитного излучения, двигатель увеличивает частоту вращения коленчатого

вала за время Δt , выходя на оптимальные обороты:

$$n_{\text{онм}} = n_{\text{нач}} + \Delta n = n_{\text{нач}} + \int_0^{\Delta t} S_n(t) dt, \quad (5)$$

где $n_{\text{нач}}$ – начальные обороты; Δn – приращение частоты вращения коленчатого вала; Δt – время при изменении оборотов с $n_{\text{нач}}$ по $n_{\text{онм}}$; $S_n(t)$ – динамическая функция скорости изменения частоты вращения коленчатого вала.

При этом средняя величина относительной массовой доли каждого из отработанных газов G_{m_i} в диапазоне Δn определяется выражением

$$G_{m_i}^{\text{сред}} = \frac{1}{n_{\text{онм}} - n_{\text{нач}}} \int_{n_{\text{нач}}}^{n_{\text{онм}}} G_{m_i} dn. \quad (6)$$

Учитывая (5) и (6), получаем зависимость массы соответствующего компонента, образовавшегося при сгорании воздушно-топливной смеси при динамическом изменении оборотов двигателя:

$$m_i = \int_0^{\Delta t} G_{m_i}^{\text{сред}} (n_{\text{нач}} + \Delta n) dt + m_k, \quad (7)$$

где m_k – коэффициент, учитывающий долю выхлопных газов, образовавшихся при сгорании дополнительного подаваемого топлива на момент изменения частоты вращения коленчатого вала в заданном диапазоне.

Эксперимент, проведённый в лаборатории токсичности ОАО «АВТОВАЗ» на ДВС ВАЗ 21114, показал, что в области $n \in [850; 2000] \text{ мин}^{-1}$ величина G_{m_i} монотонно убывает (рис.4). Измерения проводились при работе двигателя на статических режимах, которые соответствовали оборотам $n_1=850 \text{ мин}^{-1}$, $n_2=1000 \text{ мин}^{-1}$, $n_3=1200 \text{ мин}^{-1}$, $n_4=1500 \text{ мин}^{-1}$, $n_5=1700 \text{ мин}^{-1}$, $n_6=2000 \text{ мин}^{-1}$.

Определение межинтервальных значений определялось линейной интерполяцией:

$$G_m = \frac{n \times (G_m(n_j) - G_m(n_{j+1})) + G_m(n_{j+1}) \times n_j + G_m(n_j) \times n_{j+1}}{n_{j+1} + n_j}, \quad (8)$$

где $j = \overline{1, 6}$.

Также проведены измерения массы соответствующего компонента, образовавшегося при сгорании воздушно-топливной смеси при работе двигателя в динамическом режиме. Время перехода ДВС с одного статического состояния, такого, как $n=850 \text{ мин}^{-1}$, на другое – $n=2000 \text{ мин}^{-1}$, составляло 4 сек. При этом $m_{CO} = 0.0009 \text{ грамм}$, $m_{CH} = 0.0008 \text{ грамм}$, $m_{CO_2} = 5.1029 \text{ грамм}$, $m_{NO_x} = 0.0001 \text{ грамм}$, а коэффициент, учитывающий долю выхлопных газов, образовавшихся при сгорании дополнительного подаваемого топлива на момент изменения частоты вращения коленчатого вала в заданном диапазоне $m_{K_{CO}} = 1.075 \times 10^{-4}$, $m_{K_{CH}} = -4.61 \times 10^{-4}$, $m_{K_{CO_2}} = 2.195$, $m_{K_{NO_x}} = 3.848 \times 10^{-5}$.

Снижение массы выбросов соответствующего газового компонента при выходе теплового двигателя на статические режимы работы с более высокими оборотами объясняется хорошим качеством перемешивания воздушно-топливной смеси.

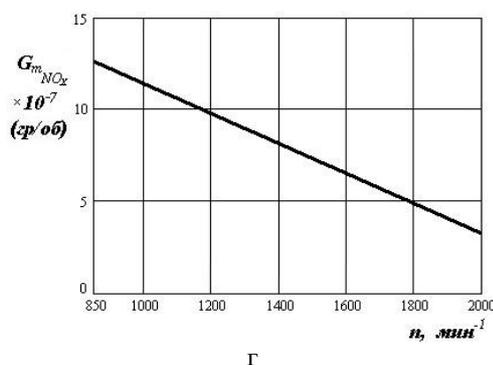
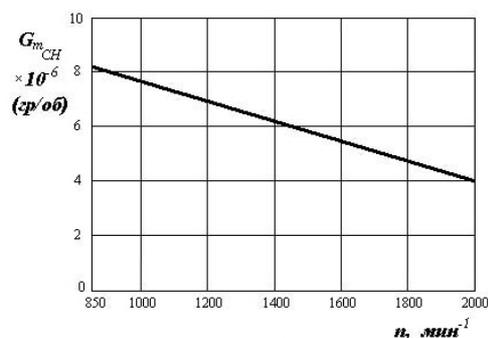
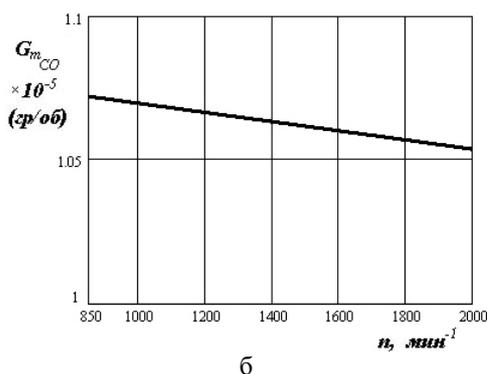
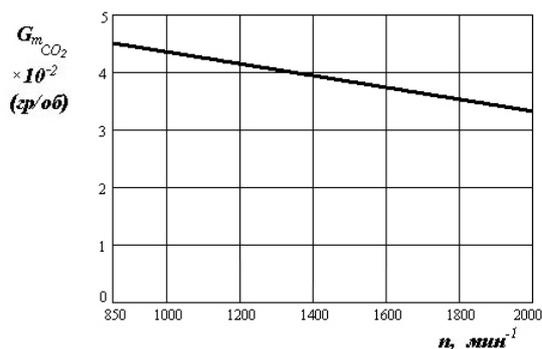


Рис. 4. Величина относительной массовой доли отработанных газов при работе ДВС на статических режимах: а – CO_2 ; б – CO ; в – CH ; г – NO_x

Основные результаты и выводы

1. Экспериментально определено, что при управлении ДВС по каналу оптимизации величины электромагнитного поля в области частот вращения коленчатого вала $n \in [850; 1500] \text{ мин}^{-1}$ относительное увеличение объёма потребляемого топлива для поршневого двигателя внутреннего сгорания ВАЗ 21114 составляет $N_{ВАЗ21114} = 1.64$, а для ВАЗ 21126 $N_{ВАЗ21126} = 1.2$, тогда как динамическое изменение мощности излучения в заданном диапазоне составляет $N_{ЭМП} = 2.5$ раз.

2. Обосновано применение величины количественной оценки массовой доли составляющих продуктов горения воздушно-топливной смеси, отнесённой к оборотам коленчатого вала, как выходной характеристики системы управления ДВС с дополнительным каналом регулирования по уровню излучаемого электромагнитного поля.

3. Установлено, что в отдельно взятом такте выхлопа для диапазона оборотов ДВС $n \in [850; 1500]$, соответствующих области управления режимами работы теплового двигателя принудительного зажигания по параметрам ЭМП, масса компонентов, таких, как CO , CO_2 , CH и NO_x , с увеличением частоты вращения коленвала уменьшается.

Библиографический список

1. Князев, А. Д. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учётом электромагнитной совместимости [Текст] / А. Д. Князев. – М.: Радио и связь, 1989. – 405 с.
2. Балагуров, В. А. Аппараты зажигания [Текст] / В. А. Балагуров. – М.: Машиностроение, 1964. – 351 с.
3. Максимов, М. В. Защита от радиопомех [Текст] / М. В. Максимов. – М.: Советское радио, 1976. – 496 с.
4. Николаев, П. А. Измерение мощности радиопомех от системы зажигания автомобилей при работе двигателя на холостом ходу [Текст] / П. А. Николаев, Н. Е. Конюхов // Измерительная техника. – 2004. – №8. – С. 20-24.
5. Николаев, П. А. Обзор методов подавления помех от системы зажигания [Текст] / П. А. Николаев, С. А. Червяков // Технологии ЭМС. – 2004. – №3. – С. 46-54.
6. Николаев, П. А. Исследование динамики разрядных процессов в системе зажигания ДВС и излучаемых радиопомех [Текст] / П. А. Николаев // Автомобильная промышленность. – 2006. – №8. – С. 19-21.

References

1. Knyazev, A. D. Designing radioelectronic and electronic-computing equipment with regard to electromagnetic compatibility / A. D. Knyazev. – Moscow: Radio I svyaz (Radio and communication), 1989. – 405 p.
2. Balagurov, V. A. Ignition devices / V. A. Balagurov. – Moscow: Mashinostroyeniye (Mechanical engineering), 1964. – 351 p.
3. Maximov, M. V. Protection against radio noise / M. V. Maximov. – Moscow: Soviet radio, 1976. – 496 p.
4. Nikolayev, P. A. Measuring the capacity of radio noise produced by automobile ignition system at the engine no-load / P. A. Nikolayev, N. Ye. Konyukhov // Izmeritelnaya Tekhnika (Measuring devices). – 2004. – No.8. – pp. 20-24.
5. Nikolayev, P. A. Survey of methods of suppressing interference produced by ignition systems / P. A. Nikolayev, S. A. Tchervyakov // Electromagnetic compatibility technologies. – 2004. – No.3. – pp. 46-54.
6. Nikolayev, P. A. Analysis of discharge process dynamics in ICE ignition systems and radio noise produced / P. A. Nikolayev // Avtomobilnaya promyshlennost (Automotive industry). – 2006. – No.8. – pp. 19-21.

QUALITY INDICES OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE CONTROLLED BY THE DISCHARGE CURRENT CHANNEL

© 2010 N. Ye. Konyukhov¹, P. A. Nikolayev², R. R. Soyeshhev²

¹Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)
²Togliatti AVTOVAZ

The paper is devoted to the analysis of quality indices of automobile compulsory ignition internal combustion engines (ICE). The paper deals with the problems related to variations in fuel consumption and amount of exhaust gases when the ICE operation modes are controlled by the discharge current channel. The results of experimental analysis of quality indices for both serial and perspective piston engines are given. Complex evaluation of the efficiency of ICE control by the level of electromagnetic disturbance radiated is also given.

Automobile, engine, fuel, disturbances.

Информация об авторах

Конюхов Николай Евгеньевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Электротехника», Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: датчики.

Николаев Павел Александрович, кандидат технических наук, инженер ОАО «АВТОВАЗ», npa690@yandex.ru. Область научных интересов: электромагнитные волны.

Соешев Руслан Рушанович, аспирант Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королёва (национального исследовательского университета), слесарь ОАО «АВТОВАЗ», soeshev@yandex.ru. Область научных интересов: двигатели внутреннего сгорания.

Konyukhov Nikolay Yevgenyevitch, doctor of technical science, professor of the department “Electrical engineering”, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). Area of research: transducers.

Nikolayev Pavel Alexandrovitch, candidate of technical science, engineer at AVTOVAZ, npa690@yandex.ru. Area of research: electromagnetic waves.

Soyeshhev Ruslan Rushanovitch, post-graduate student of Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), mechanic at AVTOVAZ, soeshev@yandex.ru. Area of research: internal combustion engines.