

УДК 621.43.001.42

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК ПО ИЗМЕНЕНИЮ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ТОПЛИВНОЙ СМЕСИ

¹Плаксин А.М., ¹Триценко А.В., ²Глемба К.В., ¹Бакайкин Д.Д., ¹Хвостов С.П.,
¹Абросимов Д.А., ¹Цыганов К.А., ¹Власов Д.Б.

¹Челябинская государственная агроинженерная академия, Челябинск, e-mail: alexgrits13@mail.ru;

²Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, e-mail: glemba77@mail.ru

В статье рассматривается новый метод диагностирования системы топливоподачи и ее отдельных элементов. Анализ научно-исследовательских работ по надежности систем двигателя показывает, что общее количество отказов системы питания составляет 18–30%. Требуется разработка новых методов и средств диагностирования системы топливоподачи без разборки с минимальным подготовительно-заключительным временем на процесс диагностирования. В результате экспериментальных исследований установлено, что среднеквадратическое отклонение теоретической зависимости частоты вращения коленчатого вала двигателя от зависимости, полученной экспериментально на режиме открытия дроссельной заслонки на 25 и 70%, составило 2%, что соответствует точности измерения частоты вращения коленчатого вала двигателя отключателем форсунок. Чувствительность диагностического параметра для предельно увеличенной пропускной способности форсунки $K = 35 \text{ мин}^{-1}$. Чувствительность диагностического параметра для предельно уменьшенной пропускной способности форсунки $K = 36 \text{ мин}^{-1}$. Изменение пропускной способности на 1% вызывает изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя на 35, 36 мин^{-1} . При дискретности измерений в 40 мин^{-1} можно отслеживать пропускную способность в пределах 2%, что вполне достаточно для определения предельных значений пропускной способности форсунки. Чувствительность диагностического параметра для предельно увеличенной пропускной способности форсунки $K = 106 \text{ мин}^{-1}$. Чувствительность диагностического параметра для предельно уменьшенной пропускной способности форсунки $K = 116 \text{ мин}^{-1}$. Изменение пропускной способности на 1% вызывает изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя на 106, 116 мин^{-1} . Возникающие неисправности электрических бензиновых насосов, форсунок, топливных фильтров приводят к нарушению выходных характеристик, их контроль в процессе эксплуатации позволяет быстро определить эпицентр отказа.

Ключевые слова: система топливоподачи, электромагнитная форсунка, методы и средства диагностирования, двигатель, диагностирование, диагностические параметры, частота вращения коленчатого вала двигателя

DIAGNOSING SOLENOID INJECTORS TO CHANGE THE QUALITATIVE COMPOSITION OF THE FUEL MIXTURE

¹Plaksin A.M., ¹Gritsenko A.V., ²Glemba K.V., ¹Bakaykin D.D., ¹Khvostov S.P.,
¹Abrosimov D.A., ¹Tsyganov K.A., ¹Vlasov D.B.

¹Chelyabinsk State Agroengineering Academy, Chelyabinsk, e-mail: alexgrits13@mail.ru;

²South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, e-mail: glemba77@mail.ru

The article deals with a new method of diagnosing fuel system and its individual elements. Analysis of research work on the reliability of the engine shows that the total number of failures of the system power supply is – 18-30%. Requires the development of new methods and means of diagnosing fuel system without disassembly with minimal set-up times on the process of diagnosis. As a result of experimental studies have established the standard deviation of the theoretical dependence of the frequency of rotation of the crankshaft of the engine from the dependence obtained experimentally on the mode throttle opening at 25 and 70%, amounting to 2%, which corresponds to the accuracy of measurement of the speed of the crankshaft of the engine nozzles disconnectors. The sensitivity of the diagnostic parameter for a marginal increase in capacity injectors $K = 35 \text{ min}^{-1}$. The sensitivity of the diagnostic parameter for extremely reduced capacity injectors $K = 36 \text{ min}^{-1}$. Changing the bandwidth of 1% causes a change in the rotational speed of the crankshaft of the engine 35, 36 min^{-1} . When the measurement resolution of 40 min^{-1} can monitor bandwidth within 2%, which is sufficient to determine the limits bandwidth injectors. The sensitivity of the diagnostic parameter for a marginal increase in capacity injectors $K = 106 \text{ min}^{-1}$. The sensitivity of the diagnostic parameter for extremely reduced capacity injectors $K = 116 \text{ min}^{-1}$. Changing the bandwidth of 1% causes a change in the engine speed of the engine 106, 116 min^{-1} . When the measurement resolution of 40 min^{-1} can monitor bandwidth within 2%, which is sufficient to determine the limits bandwidth injectors. There is a fault electrical fuel pumps, injectors, fuel filters lead to a breach of the output characteristics, and their control in the process of operation allows you to quickly determine the epicenter of failure.

Keywords: fuel system, solenoid injectors, methods and means of diagnosis, engine, diagnostics, diagnostic parameters, the frequency of rotation of the crankshaft of the engine

Анализ научно-исследовательских работ по надежности систем ДВС показывает, что общее количество отказов системы питания составляет – 18–30% [1, 2, 3, 4, 5].

Разработка новых методов и средств диагностирования системы топливоподачи должна быть направлена на обеспечение дифференциации величины параметров

функционирования механизмов систем в зависимости от изменчивости условий и режимов эксплуатации машин, стабильности величин технических параметров в пространстве.

Целью настоящей работы является повышение эффективности процесса диагностирования электромагнитных форсунок по изменению качества состава топливной смеси.

Теоретические исследования

Рассмотрим процесс изменения пропускной способности форсунки во времени в соответствии с электрическим импульсом, подаваемым на форсунку блоком управления [2].

Изменение пропускной способности ЭМФ μf бензинового ДВС во времени t, c , под действием электромагнитного импульса U, B , на всех трех этапах работы ЭМФ представлено на рис. 1.

Общий расход топлива за цикл работы форсунки на трех этапах ее работы определяется:

$$Q_{\text{общ}} = [\mu_1 \cdot f_{\text{ср1}} \cdot t_1 + \mu_2 \cdot f_2 \cdot (t_{\text{имп}} - t_1) + \mu_3 \cdot f_{\text{ср3}} \cdot t_3] \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho}, \quad (1)$$

где μ_1, μ_2, μ_3 – коэффициенты расхода ЭМФ на трех этапах; $f_{\text{ср1}}, f_2, f_{\text{ср3}}$ – средняя площадь сечения распылителя ЭМФ на трех этапах, m^2 ; ΔP – разность давления топлива в рампе и впускном коллекторе, N/m^2 ; ρ – плотность топлива, kg/m^3 .

Во время эксплуатации ЭМФ происходит изменение цикловой подачи топлива за счет изменения параметров на I, II и III этапах ее работы. Проанализируем

$$\mu_1 \cdot f_{\text{ср1}} \cdot t_1 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho} < \mu_2 \cdot f_2 \cdot (t_{\text{имп}} - t_1) \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho}. \quad (2)$$

Подача топлива на III этапе связана с техническим состоянием форсунки. Суммарное время работы форсунки на I и II этапе равняется времени импульса, задаваемого электронным блоком управления двигателя. На продолжительность III этапа работы форсунки электронный блок управления двигателем не оказывает никакого влияния. Поэтому подача топлива на этом этапе неуправляема, чем больше время III этапа, тем больше топлива подается за этот неуправляемый этап. Следовательно, III этап может только увеличивать цикловую подачу топлива [2, 3].

Очевидно, что контроль пропускной способности ЭМФ необходимо вести как минимум на двух режимах работы двигателя при малых и больших подачах топлива: при 25% открытии дроссельной заслонки для оценки изменений пропуск-

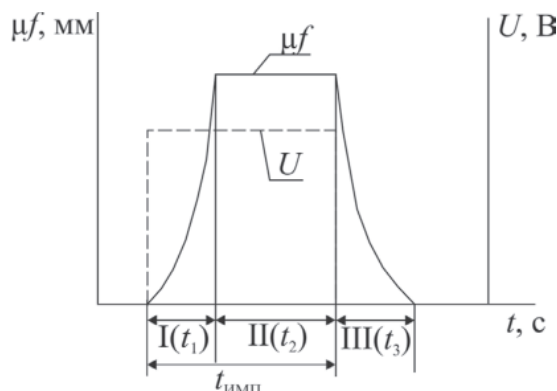


Рис. 1. Изменение пропускной способности ЭМФ $\mu f, m^2$, бензинового ДВС во времени t, c , под действием электромагнитного импульса U, B : t_1 – время открытия иглы ЭМФ, c ; $t_{\text{имп}}$ – время действия электромагнитного импульса, c ; t_2 – время полного открытия иглы ЭМФ, c ; t_3 – время закрытия (опускания) иглы ЭМФ, c ; I этап – увеличение пропускной способности ЭМФ; II этап – постоянство пропускной способности ЭМФ; III этап – уменьшение пропускной способности ЭМФ

уравнение (1). Средняя пропускная способность I этапа меньше пропускной способности на II этапе, потому что величина подъема запорной иглы на II этапе максимальна. Поэтому расход топлива за первый и второй этапы работы форсунки с ростом времени t_1 по причине изменения технического состояния элементов форсунки уменьшается, и с уменьшением времени t_1 увеличивается (2):

ной способности, вызванных изменением времени (открытия, закрытия) ЭМФ; при 70% открытии дроссельной заслонки для определения изменения пропускной способности ЭМФ при полном поднятии иглы [2].

При изменении сопротивления топливного фильтра будет ограничена подача ЭБН. При этом максимально возможная частота вращения коленчатого вала ДВС уменьшится. Для оценки сопротивления топливного фильтра можно записать

$$K_{\text{сф}} = \frac{n_{\text{макср}}}{n_{\text{максн}}}, \quad (3)$$

где $n_{\text{макср}}$ – максимальная частота вращения диагностируемого ДВС, мин^{-1} ; $n_{\text{максн}}$ – максимальная частота вращения эталонного ДВС, мин^{-1} .

Однако неисправности – значительное сопротивление топливного фильтра и уменьшение подачи ЭБН – проявляются одинаково. Для их разделения предлагается измерять ток питания ЭБН. В этом случае можно записать условие для топливного фильтра:

$$K_{\text{сф}} = \frac{n_{\text{макр}}}{n_{\text{макс}}}, \text{ при } I_{\text{р}} \gg I_{\text{н}}, \quad (4)$$

где $I_{\text{р}}$ – ток питания диагностируемого ЭБН, А; $I_{\text{н}}$ – ток питания нового ЭБН, А.

По мере роста сопротивления топливного фильтра ток питания ЭБН будет пропорционально возрастать, данный диагностический параметр при условии (4) является чувствительным диагностическим параметром оценки технического состояния топливного фильтра.

При чистом фильтре условие (4) примет вид

$$K_{\text{сф}} = \frac{n_{\text{макр}}}{n_{\text{макс}}}, \text{ при } I_{\text{р}} = I_{\text{н}}. \quad (5)$$

Ток примет значение тока для работы нового ЭБН, это говорит о том, что причиной снижения частоты вращения является износ ЭБН.

Методика исследований

Для проведения экспериментальных исследований необходимо было подготовить форсунки с предельно допустимой пропускной способностью и эталонной пропускной способностью [2]. За эталонную форсунку была выбрана новая форсунка, параметры которой соответствовали нормативно-тех-

нической документации завода изготовителя BOSCH 0 280 150 711 – производительностью 192 см³/мин. Выходные параметры форсунки проверялись на диагностическом стенде «Форсаж» [2, 3].

Изменения пропускной способности форсунок представлены в таблице.

Параметры пропускной способности форсунок

Пропускная способность форсунки	Значение	
	см ³ /мин	%
Предельно увеличенная	203	+6
Увеличенная	197	+3
Эталонная	192	0
Уменьшенная	186	-3
Предельно уменьшенная	180	-6

Результаты экспериментальных исследований

Экспериментальное исследование изменения пропускной способности ЭМФ проводилось при условиях [2, 3]: диагностический режим при частоте вращения коленчатого вала ДВС $n = 2300 \text{ мин}^{-1}$; загрузка одного работающего цилиндра осуществлялась мощностью механических потерь трех других (2-й, 3-й, 4-й цилиндры выключены); первый цилиндр работает при открытии дроссельной заслонки на 25%.

По полученным экспериментальным данным была построена зависимость изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС $n, \text{ мин}^{-1}$ от пропускной способности ЭМФ $\mu\text{ф}, \%$ на режиме открытия дроссельной заслонки 25% (рис. 2).

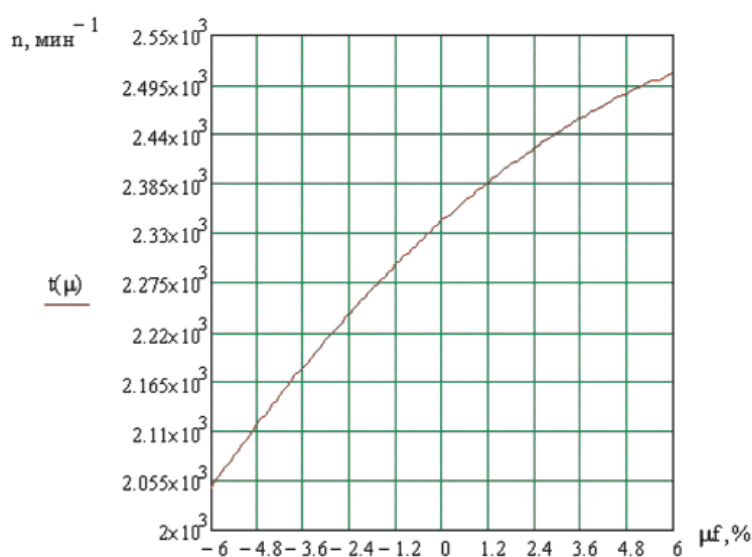


Рис. 2. Зависимость изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС $n, \text{ мин}^{-1}$, от пропускной способности ЭМФ $\mu\text{ф}, \%$ на режиме открытия дроссельной заслонки 25%

Экспериментальное исследование изменения пропускной способности ЭМФ проводилось при условиях [2, 3]: диагностический режим при частоте вращения коленчатого вала ДВС $n = 2900 \text{ мин}^{-1}$; загрузка одного работающего цилиндра осуществлялась мощностью механических потерь трех других (2-й, 3-й, 4-й цилиндры

выключены); первый цилиндр работает при открытии дроссельной заслонки на 70%.

По полученным экспериментальным данным была построена зависимость изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС $n, \text{ мин}^{-1}$, от пропускной способности ЭМФ $\mu_f, \%$ на режиме открытия дроссельной заслонки 70% (рис. 3).

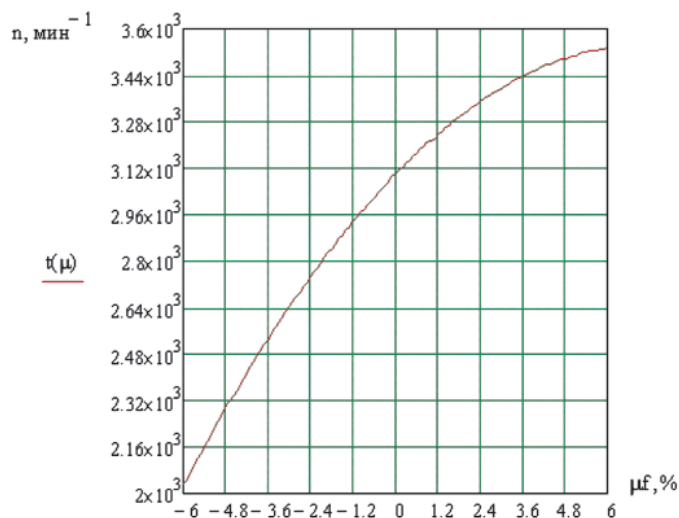


Рис. 3. Зависимость изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС $n, \text{ мин}^{-1}$, от пропускной способности ЭМФ $\mu_f, \%$ на режиме открытия дроссельной заслонки 70%

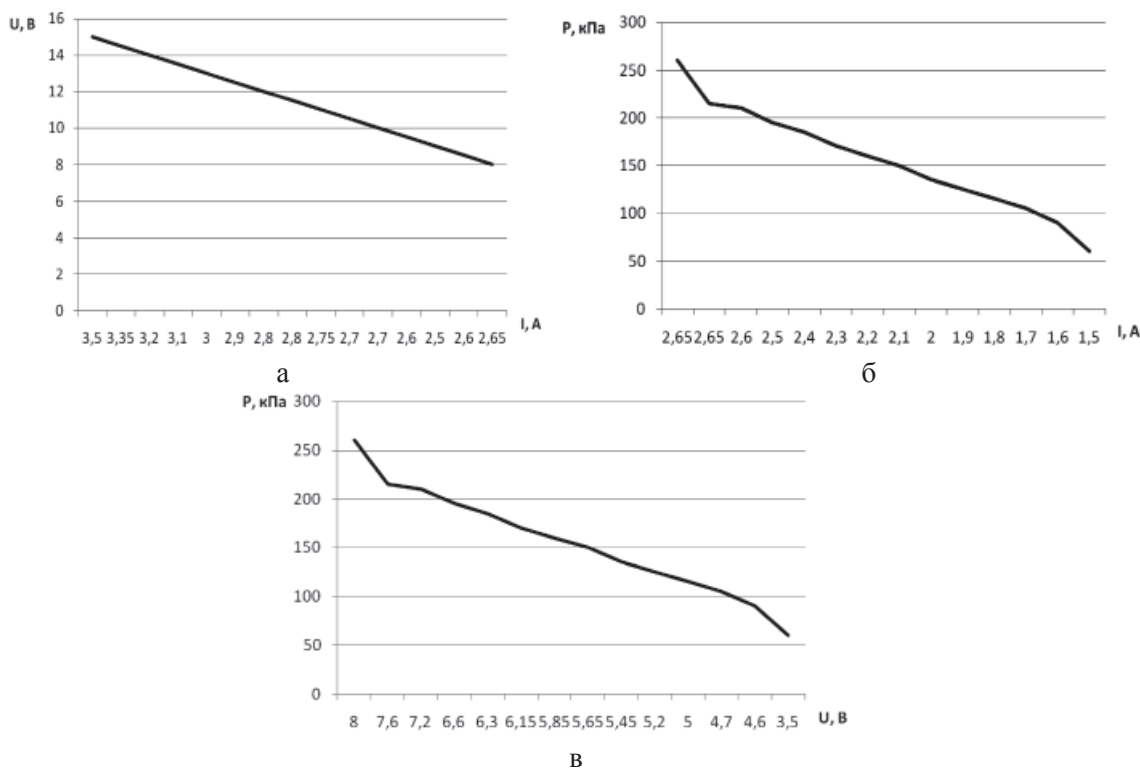


Рис. 4. Характеристики работы электрического бензинового насоса на холостом ходу работы ДВС: а – зависимость напряжения $U, \text{ В}$ от величины тока питания насоса $I, \text{ A}$; б – зависимость давления $P, \text{ кПа}$, создаваемого насосом от величины тока питания насоса $I, \text{ A}$; в – зависимость давления $P, \text{ кПа}$, создаваемого насосом от величины напряжения питания насоса $U, \text{ В}$

Кроме того, для эталонного ЭБН были сняты различные характеристики на холостом ходу работы ДВС (рис. 4).

Из зависимости, приведенной на рис. 4, а, видно, что при изменении величины напряжения питания насоса от 15 до 8 В его ток питания изменяется в пределах от 3,5 до 2,65 А. Из рис. 4, б видно, что при изменении величины тока питания насоса от 2,65 до 1,5 А давление в топливной рампе изменяется в пределах от 250 до 60 кПа. Из рис. 4, в видно, что при изменении величины напряжения питания насоса от 8 до 3,5 В давление в топливной рампе изменяется в пределах от 250 до 60 кПа.

Возникающие неисправности ЭБН, форсунок, топливных фильтров приводят к нарушению характеристик, приведенных на рис. 4. Так, при забивании топливного фильтра зависимости на рис. 4, б и в при тех же значениях тока и напряжения питания дают несколько меньшую величину давления в топливной рампе. В то же время ток питания насоса возрастает, т.к. насос работает на дополнительное сопротивление в линии нагнетания.

При износе самого насоса при тех же значениях тока и напряжения питания зависимости на рис. 4, б и в дают несколько меньшую величину давления в топливной рампе. В то же время ток питания насоса не меняется или немного снижается, т.к. насос работает с утечками при меньшем противодавлении в линии нагнетания.

Выводы

Анализ научно-исследовательских работ по надежности систем ДВС показывает, что общее количество отказов системы питания составляет – 18–30%. Разработан новый метод диагностирования системы топливоподачи, основанный на контроле выходных характеристик системы топливоподачи. Возникающие неисправности ЭБН, форсунок, топливных фильтров приводят к нарушению характеристик, приведенных на рис. 4. Так, при забивании топливного фильтра зависимости на рис. 4, б и в при тех же значениях тока и напряжения питания дают несколько меньшую величину давления в топливной рампе. В то же время ток питания насоса возрастает, т.к. насос работает на дополнительное сопротивление в линии нагнетания. При износе самого насоса при тех же значениях тока и напря-

жения питания зависимости на рис. 4, б и в дают несколько меньшую величину давления в топливной рампе. В то же время ток питания насоса не меняется или немного снижается, т.к. насос работает с утечками при меньшем противодавлении в линии нагнетания.

Список литературы

1. Соснин Д.А., Яковлев В.Ф. Новейшие автомобильные электронные системы. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 240 с.
2. Гриценко А.В. Разработка методов тестового диагностирования работоспособности систем питания и смазки двигателей внутреннего сгорания (экспериментальная и производственная реализация на примере ДВС автомобилей): дис. ... д-ра техн. наук. – Челябинск, 2014. – 397 с.
3. Бакайкин Д.Д. Диагностирование электромагнитных форсунок бензиновых двигателей автомобилей, эксплуатируемых в сельском хозяйстве: дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 2013. – 132 с.
4. Вереютин А.Ю. Способ диагностирования электромагнитных форсунок двигателей с впрыскиванием бензина: дис. ... канд. техн. наук. – Рязань, 2010. – 143 с.
5. Гончаров А.А. Совершенствование технологии диагностирования электронных систем управления автомобильных двигателей: дис. ... канд. техн. наук. – Оренбург, 2004. – 96 с.

References

1. Sosnin D.A., Jakovlev V.F. Novejšhie avtomobil'nye jelektronnye sistemy. M.: SOLON-Press, 2005. 240 p.
2. Gricenko A.V. Razrabotka metodov testovogo diagnostirovanija rabotosposobnosti sistem pitaniija i smazki dvigatelej vnutrennego sgoranija (jeksperimental'naja i proizvodstvennaja realizacija na primere DVS avtomobilej). Dis... dokt. tehn. nauk. Cheljabinsk. 2014. 397 p.
3. Bakajkin D.D. Diagnostirovanie jelektromagnitnyh forsunok benzinovyh dvigatelej avtomobilej, jekspluatiruemyh v sel'skom hozjajstve. Dis. ... kand. tehn. nauk. Cheljabinsk. 2013. 132 p.
4. Verejutin A.Ju. Sposob diagnostirovanija jelektromagnitnyh forsunok dvigatelej s vpryskivaniem benzina. Dis. ... kand. tehn. nauk. Rjazan'. 2010. 143 p.
5. Goncharov A.A. Sovershenstvovanie tehnologii diagnostirovanija jelektronnyh sistem upravlenija avtomobil'nyh dvigatelej. Dis. ... kand. tehn. nauk. Orenburg. 2004. 96 p.

Рецензенты:

Машрабов Н.М., д.т.н., профессор кафедры «Технология и организация технического сервиса», Челябинская государственная агроинженерная академия, г. Челябинск;

Ерофеев В.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедры «Технология и организация технического сервиса», Челябинская государственная агроинженерная академия, г. Челябинск.

Работа поступила в редакцию 28.11.2014.