

УДК 621.43.001.42

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАСОСОВ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ИМИТАЦИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ В НАГНЕТАТЕЛЬНОМ ТОПЛИВОПРОВОДЕ

¹Триценко А.В., ¹Плаксин А.М., ²Глемба К.В., ¹Ганиев И.Г., ²Лукомский К.И.

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

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

В статье представлены результаты исследования выходных характеристик электрических насосов системы топливоподачи автомобилей при имитации сопротивления в нагнетательном топливопроводе, для чего разработан новый метод диагностирования элементов системы топливоподачи. Известно, что на систему топливоподачи приходится 20–30% отказов автомобиля. Установлено, что отказы системы топливоподачи приводят к повышению выбросов токсичных компонентов в окружающую среду в 5–10 раз, снижению мощности двигателя на 15–23%. Нарушение работоспособности топливной системы в подавляющем большинстве случаев объясняется: использованием некондиционного топлива; низкой квалификацией персонала, производящего ремонт, эксплуатацию и техническое обслуживание автомобилей; применением неоригинальных запасных частей низкого качества. В то же время совершенствование системы питания двигателей с впрыском бензина направлено на обеспечение высоких экологических показателей. Обеспечение последних возможно за счет точного дозирования подачи топлива на всех режимах работы двигателя. В настоящее время встречается два типа топливных систем: 1. Система с регулятором давления топлива, установленным на топливной рампе; 2. Система с регулятором давления топлива, установленным на топливном насосе в баке. Для контроля технического состояния элементов системы топливоподачи разработан метод тестового диагностирования, основанный на нагрузочном и стресс-тестировании. Контроль технического состояния электрических бензиновых насосов возможен по измерению разности величин частоты вращения коленчатого вала двигателя при отключении искробразования и топливоподачи. Режим диагностирования обеспечивается отключением трех цилиндров при максимально возможной подаче топлива в работающий цилиндр. Предельной величиной диагностического параметра является $\Delta n = 600 \text{ мин}^{-1}$ (при 40% износе электрического бензинового насоса – снижение коэффициента запаса электрического бензинового насоса на 1,4).

Ключевые слова: тестовое диагностирование, система топливоподачи, электрический бензиновый насос, нагрузочное и стресс-тестирование, техническое состояние, диагностический параметр, отказ

THE RESULTS OF THE RESEARCH OUTPUT OF THE ELECTRIC PUMP CAR WHEN SIMULATING RESISTANCE IN THE FUEL DISCHARGE

¹Gritsenko A.V., ¹Plaksin A.M., ²Glemba K.V., ¹Ganiev I.G., ²Lukomskiy K.I.

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

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

The article presents the results of a study of the output characteristics of electric pumps for fuel vehicles in simulated resistance in the fuel discharge. Why a new method of diagnosing the fuel system. It is known that the fuel system represents 20–30% of the failures of the car. It was established that the fuel system failures lead to increased emissions of toxic components into the environment 5–10 times reduction in engine power on 15–23%. Malfunction of the fuel system in most cases is due to: the use of substandard fuel; low-skilled personnel conducting repair, operation and maintenance of motor vehicles; the use of non-original spare parts of inferior quality. At the same time improve the system power-injection gasoline engines designed to ensure high environmental performance. Providing the latest possible due to precise fuel metering at all engine operating modes. Currently, there are two types of fuel systems: System 1 with fuel pressure regulator mounted on the fuel rail; 2 system with the fuel pressure regulator mounted on the fuel pump in the tank. For the technical inspection of the fuel system developed a method of diagnosing a test based on the load and stress testing. Condition monitoring of electrical gasoline pumps is possible by measuring the difference between the values of the engine speed of the engine is turned off when sparks and fuel. Diagnosing mode and disconnection of three cylinders in the highest possible fuel supply into a working cylinder. Limiting value of the diagnostic parameter is $\Delta n = 600 \text{ min}^{-1}$ (at 40% of the electric fuel pump wear – a decline in the stock electric fuel pump 1,4).

Keywords: test diagnostics, fuel system, electric gasoline pump, load and stress testing, technical condition, the diagnostic parameter, failure

Из многочисленных литературных источников известно, что наименее надежной системой двигателей легковых автомобилей является система питания [1, 2, 3, 4, 5]. Доля всех отказов системы топливоподачи от общего числа отказов двигателя составляет – 15–40% [1–5].

Нарушение работоспособности топливной системы в подавляющем большинстве

случаев объясняется: использованием некондиционного топлива; низкой квалификацией персонала, производящего ремонт, эксплуатацию и техническое обслуживание автомобилей; применением неоригинальных запасных частей низкого качества.

В то же время совершенствование системы питания двигателей с впрыском бензина направлено на обеспечение высоких

экологических показателей. Обеспечение последних возможно за счет точного дозирования подачи топлива на всех режимах работы двигателя [1, 2, 4, 5]. Рассмотрим тенденции совершенствования систем питания.

В настоящее время встречается два типа топливных систем:

1. Система с регулятором давления топлива (РДТ), установленным на топливной рампе.

2. Система с РДТ, установленным на топливном насосе в баке [1, 4].

Системы без возврата топлива в бак уменьшают нагрев топлива в баке, что облегчает выполнение принятых норм по максимально допустимым выбросам топливных паров, эта система может снизить температуру в топливном баке до 10°C при снижении испарения топлива приблизительно на 1/3. Данные системы по объему производства прочно занимают первое место в мире [1].

В порядке улучшения технологических свойств систем впрыска (в зависимости от

места подачи топлива) их можно расположить в следующей последовательности:

1. С центральным впрыском (в дроссельный узел), сюда же можно отнести карбюраторные автомобили.

2. С распределенным впрыском топлива в зону впускных клапанов.

3. С впрыском непосредственно в цилиндры двигателя.

4. С впрыском в дополнительные камеры сгорания (форкамеры, вихревые камеры).

Целью настоящей работы является исследование выходных характеристик электрических насосов автомобилей при имитации сопротивления в нагнетательном топливопроводе.

Теоретические исследования

Для обоснования диагностических режимов и параметров проведем анализ характеристик работы автомобильных ЭБН.

Расчет производительности ЭБН производится по максимальному расходу топлива ДВС [3, 4]:

$$Q_H = K \cdot \left(i \cdot Q_{\text{цmax}} \cdot \frac{\tau_{\text{max}}}{T_{\text{min}}} \cdot \frac{n_{\text{max}}}{2} \cdot 60 \cdot 10^{-3} + 30 \right), \quad (1)$$

где K – коэффициент запаса производительности; i – число цилиндров двигателя, шт.; $Q_{\text{цmax}}$ – максимальная цикловая подача при максимальной частоте вращения двигателя, см³; τ_{max} – длительность импульса при максимальной цикловой подаче, с; T_{min} – минимальный период следования цикловых по-

дач, с; n_{max} – максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹; 30 л/ч – минимальный расход через редукционный клапан, при котором устойчиво поддерживается постоянное давление топлива в системе.

Выражая отношение подачи насоса к расходу топлива одной форсункой, получим

$$t_p = t_3 \cdot \frac{K \cdot \left(i \cdot Q_{\text{цmax}} \cdot \frac{\tau_{\text{max}}}{T_{\text{min}}} \cdot \frac{n_{\text{max}}}{2} \cdot 60 \cdot 10^{-3} + 30 \right)}{\mu_{\text{ф}} \cdot f_{\text{ф}} \cdot \sqrt{2/\rho_T} \cdot \sqrt{P_0 - P_K}}, \quad (2)$$

где t_p – время выработки топлива форсункой, с; t_3 – время заполнения рампы и топливных магистралей топливом, с; $\mu_{\text{ф}}$ – коэффициент расхода; $f_{\text{ф}}$ – площадь сечения форсунки, м²; ρ_T – плотность топлива, кг/м³; P_0 – давление топлива в рампе, МПа; P_K – противодействие впрыску, МПа.

Выражая из уравнения (2) значение n_{max} , получим расчетную теоретическую модель для СТ, позволяющую исследовать взаимосвязь n_{max} от изменения технического состояния отдельных элементов СТ [4]:

$$n_{\text{max}} = \frac{\left(\mu_{\text{ф}} \cdot f_{\text{ф}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_T} (P_0 - P_K)} \right) \cdot 10^9 \cdot t_p}{8,3 \cdot t_3 \cdot K \cdot i \cdot Q_{\text{цmax}} \cdot \frac{\tau_{\text{max}}}{T_{\text{min}}}} - \frac{1}{10^{-3} \cdot i \cdot Q_{\text{цmax}} \cdot \frac{\tau_{\text{max}}}{T_{\text{min}}}}. \quad (3)$$

Таким образом, полученная теоретическая модель (3) позволяет установить взаимосвязь максимально возможной частоты вращения от технического состояния отдельных элементов СТ.

Техническое состояние ЭБН предлагается определять по отношению частот вращения нового ДВС и реального (диагностируемого), данное отношение позволяет определить степень уменьшения подачи

диагностируемого насоса, а в конечном итоге износ диагностируемого насоса

$$\frac{Q_{\text{НН}}}{Q_{\text{НР}}} = \frac{K_{\text{НН}} (K_{\text{Д}} \cdot n_{\text{Hmax}} + 30)}{K_{\text{НР}} (K_{\text{Д}} \cdot n_{\text{Pmax}} + 30)}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{НН}}$ – подача нового насоса, л/ч; $Q_{\text{НР}}$ – подача реального насоса, л/ч; $K_{\text{НН}}$ – коэффициент запаса производительности нового насоса; $K_{\text{НР}}$ – коэффициент запаса производительности реального насоса; $K_{\text{Д}}$ – конструктивный коэффициент; n_{Hmax} – максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя при работе нового насоса, мин⁻¹; n_{Pmax} – максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя при работе реального насоса, мин⁻¹.

Причем выражение (4) универсально для любых насосов.

Другим чувствительным диагностическим параметром к определению технического состояния ЭБН является снижение максимально возможной частоты вращения коленчатого вала ДВС из-за выработки топлива при проверке работы ЭБН с меньшим напряжением питания. Гипотеза сводится к тому, что с ростом утечек ЭБН в процессе эксплуатации, при понижении напряжения его питания снизится максимально возможная частота вращения коленчатого вала ДВС при полностью открытой дроссельной заслонке.

Методика диагностирования системы выпуска

Реализация данных методов возможна при использовании патентов № 2009123798, № 2012109956 [4, 6] и устройства – отключатель электромагнитных форсунок (догружатель), при помощи которого можно менять длительность впрыска [4, 7–9].

Для экспериментальных исследований технического состояния электробензонасосов подсоединяется отключатель электромагнитных. После чего проводятся тесты на определение работоспособности электробензонасоса [4, 8, 9]. Для испытания электробензонасоса (на определение пониженной подачи топлива) выключается топливоподача полностью во все цилиндры кроме одного (показавшего наилучший результат при проверке баланса цилиндров). И максимально нажимается и удерживается педаль газа. Записывается частота вращения коленчатого вала ДВС при этом. Для данного ДВС (рис. 1, а) частота вращения коленчатого вала ДВС составила 3320 мин⁻¹.

Далее выключается искрообразование полностью во все цилиндры кроме одного (на рис. 1, б) – второго цилиндра). И максимально нажимается и удерживается педаль газа. Записывается частота вращения коленчатого вала ДВС. Для данного ДВС (рис. 1, б) частота вращения коленчатого вала ДВС составила 3920 мин⁻¹.

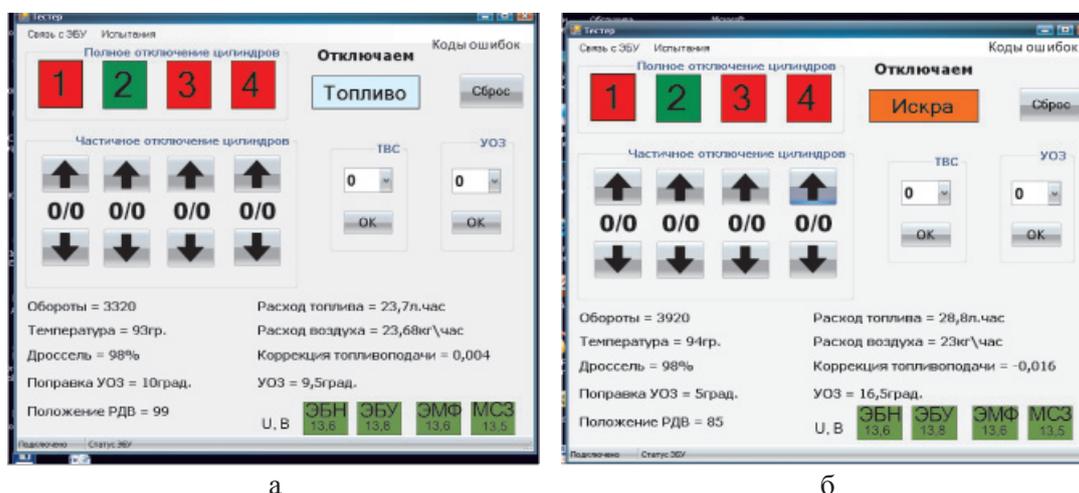


Рис. 1. Интерфейс диагностической программы с параметрами испытания электробензонасоса (ЭБН): а – при выключении топливоподачи; б – при выключении искрообразования

Описанные выше тесты для ЭБН необходимо провести при различных значениях напряжения питания электробензонасоса. Для этого кнопкой на интерфейсе диагностической программы изменяют напряжение пита-

ния ЭБН в пределах 4–14 В. Динамика снижения частоты вращения коленчатого вала ДВС в зависимости от напряжения питания электробензонасоса также характеризует степень износа электробензонасоса [4, 8, 9].

Для экспериментальных исследований были подготовлены 10 электробензонасосов, которые уложились в 5 групп по степени износа:

1 – технически исправный ЭБН; 2 – на 40% сниженная производительность ЭБН; 3 – на 60% сниженная производительность ЭБН; 4 – на 70% сниженная производительность ЭБН; 5 – на 80% сниженная производительность ЭБН.

Результаты экспериментальных исследований

В результате экспериментальных исследований [4, 7–9] при выключении искробразования полностью во все цилиндры кроме одного (рис. 1, а) получили значения частот вращения коленчатого вала ДВС для различного технического состояния электробензонасосов (производительности).

В результате экспериментальных исследований при выключении топливоподдачи полностью во все цилиндры кроме одного (рис. 1, б) получили значения частот вращения коленчатого вала ДВС для различного технического состояния электробензонасосов (производительности).

Для исправного ДВС значение частоты вращения коленчатого вала ДВС при выключении подачи топлива (рис. 1, а) всегда меньше, чем для случая выключения искробразования (рис. 1, б). Объясняется это тем, что во втором случае топливо поступает во впускной коллектор от четырех работающих форсунок и его хватает в избытке для роста частоты вращения коленчатого вала ДВС. При выключении топливоподдачи топлива соответственно меньше и рост частоты вращения коленчатого вала ДВС не наблюдается.

Однако с понижением подачи электробензонасоса (износ электробензонасоса) наблюдается обратная ситуация. При отключении топливоподдачи ДВС развивает большую частоту вращения коленчатого вала ДВС, т.к. работает только одна форсунка. При отключении искробразования все четыре форсунки обеспечивают подачу топлива и быстро опустошают топливную рампу, что приводит к снижению частоты вращения коленчатого вала ДВС относительно отключения топливоподдачи. Все вышесказанное можно увидеть на рис. 2.

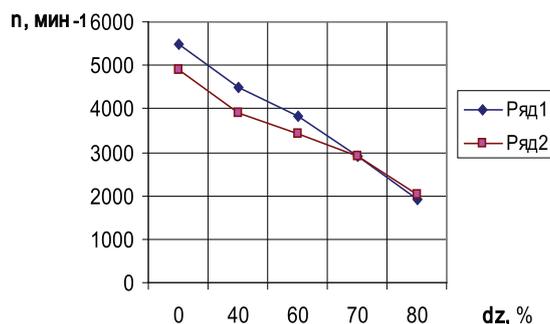


Рис. 2. Экспериментальная зависимость максимально развиваемой частоты вращения ДВС n , мин^{-1} , от степени износа ЭБН dz , % (данные при напряжении питания ЭБН $U = 14$ В): ряд 1 – при отключении искробразования; ряд 2 – при отключении подачи топлива

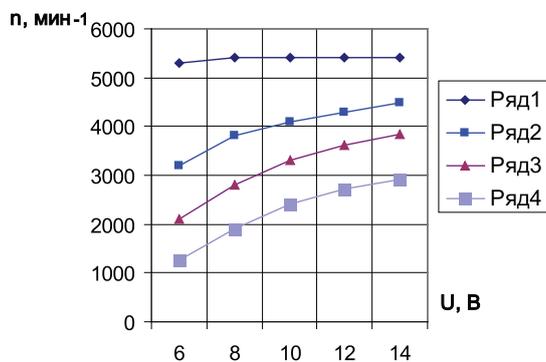


Рис. 3. Экспериментальная зависимость максимально развиваемой частоты вращения ДВС n , мин^{-1} , от напряжения питания ЭБН U , В: ряд 1 – технически исправный ЭБН; ряд 2 – на 40% сниженная производительность ЭБН; ряд 3 – на 50% сниженная производительность ЭБН; ряд 4 – на 70% сниженная производительность ЭБН

Далее проводились испытания ЭБН при различных значениях напряжения питания электробензонасоса. Для этого кнопкой на интерфейсе диагностической программы изменяли напряжение питания ЭБН в пределах 4–14 В. Динамика снижения частоты вращения коленчатого вала ДВС в зависимости от напряжения питания электробензонасоса также характеризует степень износа электробензонасоса (зависимость представлена на рис. 3).

Таким образом, диагностирование технического состояния ЭБН осуществляют по измерению максимально возможной частоты вращения ДВС при работе на одном цилиндре (при 100% открытой дроссельной заслонке). Контроль осуществляется с выключением топлива и искрообразования в выключаемых цилиндрах. Динамика снижения частоты вращения коленчатого вала ДВС в зависимости от напряжения питания электробензонасоса также характеризует степень износа электробензонасоса.

Выводы

К числу наиболее значимых систем следует отнести систему топливоподачи, на долю которой приходится 20–30% отказов автомобиля. Контроль технического состояния ЭБН возможен по измерению разности величин частоты вращения коленчатого вала ДВС при отключении искрообразования и топливоподачи. Режим диагностирования обеспечивается отключением трех цилиндров при максимально возможной подаче топлива в работающий цилиндр. Предельной величиной диагностического параметра является $\Delta n = 600 \text{ мин}^{-1}$ (при 40% износе ЭБН – снижение коэффициента запаса ЭБН на 1,4).

Список литературы

1. Соснин Д.А., Яковлев В.Ф. Новейшие автомобильные электронные системы. – М.: СОЛОН-Пресс, – 2005. – 240 с.
2. Ерохов В.И. Системы впрыска бензиновых двигателей (конструкция, расчет, диагностика): учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 552 с.
3. Бudyko Ю.И. и др. Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей. Л.: Машиностроение (Ленинградское отделение), – 1975. – 192 с.
4. 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.
5. Ерохов В.И. Алгоритм и результаты расчета электромагнитной форсунки бензинового двигателя / В.И. Ерохов,

М.П. Макарова // Известия МГТУ «МАМИ». – 2008. – № 2. – С. 14–19.

6. Васильев Ю.А. Обоснование и разработка эффективных систем технического диагностирования для мобильных машин сельскохозяйственного назначения. дис. ... д-ра техн. наук. – Челябинск, 1994. – 309 с.

7. Гриценко А.В. и др. Методы и средства тестового диагностирования системы питания двигателей внутреннего сгорания автомобилей // Технологические рекомендации. – М.: ГОСНИТИ, 2013. – 40 с.

8. Гриценко А.В., Плаксин А.М. Диагностирование системы питания ДВС // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – № 1. – С. 24–26.

9. Гриценко А.В., Цыганов К.А. Диагностирование электрических бензонасосов автомобилей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 4. – С. 22–23.

References

1. Sosnin D.A., Jakovlev V.F. Novejshie avtomobil'nye jelektronnye sistemy. M.: SOLON-Press, 2005. 240 p.
2. Erohov V.I. Sistemy vpryska benzinovyh dvigatelej (konstrukcija, raschet, diagnostika) : uchebnik dlja vuzov. M.: Gorjachaja linija Telekom, 2011. 552 p.
3. Budyko Ju.I. i dr. Apparatura vpryska legkogo topliva avtomobil'nyh dvigatelej. L., «Mashinostroenie» (Leningradskoe otdelenie), 1975. 192 p.
4. Gricenko A.V. Razrabotka metodov testovogo diagnostirovanija rabotosposobnosti sistem pitaniya i smazki dvigatelej vnutrennego sgoranija (jeksperimental'naja i proizvodstvennaja realizacija na primere DVS avtomobilej). Dis... dokt. tehn. nauk. Cheljabinsk. 2014. 397 p.
5. Erohov V.I. Algoritm i rezul'taty rascheta jelektromagnitnoj forsunki benzinovogo dvigatelja / V.I. Erohov, M.P. Makarova // Izvestija MGTU «MAMI». 2008. no 2, pp. 14–19.
6. Vasil'ev Ju.A. Obosnovanie i razrabotka jeffektivnyh sistem tehničeskogo diagnostirovanija dlja mobil'nyh mashin sel'skhozjajstvennogo naznachenija. Dis. ... dokt. tehn. nauk. Cheljabinsk, 1994. 309 p.
7. Gricenko A.V. i dr. Metody i sredstva testovogo diagnostirovanija sistemy pitaniya dvigatelej vnutrennego sgoranija avtomobilej. Tehnologičeskie rekomendacii. M.: GOSNITI, 2013. 40 p.
8. Gricenko A.V., Plaksin A.M. Diagnostirovanie sistemy pitaniya DVS // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. 2014. no 1, pp. 24–26.
9. Gricenko A.V., Cyganov K.A. Diagnostirovanie jelektričeskikh benzonasosov avtomobilej // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. 2013. no 4. pp. 22–23.

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 21.10.2014.