

УДК 621.43.001.42

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БЕНЗИНОВЫХ НАСОСОВ ПО КОМПЛЕКСНЫМ ВЫХОДНЫМ ПАРАМЕТРАМ

<sup>1</sup>Плаксин А.М., <sup>1</sup>Гриценко А.В., <sup>2</sup>Глемба К.В., <sup>1</sup>Бакайкин Д.Д., <sup>1</sup>Хвостов С.П.,  
<sup>1</sup>Абросимов Д.А., <sup>1</sup>Цыганов К.А., <sup>1</sup>Власов Д.Б.

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

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

В статье представлены результаты исследования характеристик электрических насосов системы топливоподачи автомобилей по комплексным выходным параметрам. К числу наиболее значимых систем следует отнести систему топливоподачи, на долю которой приходится 20–30% отказов автомобиля. Диагностирование системы топливоподачи возможно при использовании устройства – отключателя электромагнитных форсунок (догружателя). Для проведения экспериментальных исследований устанавливались электрические бензиновые насосы с различной подачей: 1. Сниженная на 60%. 2. Сниженная на 40%. 3. Сниженная на 20%. Также устанавливались электромагнитные форсунки с различной пропускной способностью. Исследования проводились на исследовательском стенде с приводным электродвигателем мощностью 5,5 кВт. Объектом испытаний являлась система топливоподачи двигателя ЗМЗ-4062 – 4-цилиндровый, 16-клапанный, с порядком работы цилиндров 1-3-4-2, оборудованный микропроцессорной системой управления. В результате исследований получено, что чем больший перепад давления устанавливается в системе топливоподачи, тем большая частота вращения двигателя поддерживается при работе одной форсунки. Установлено, что чем ниже подача электрического бензинового насоса, тем ниже пределы изменения частоты вращения двигателя. Так при 60% сниженной подаче электрического бензинового насоса пределы изменения частоты вращения двигателя составили от 600 до 1600 мин<sup>-1</sup>; при 40% сниженной подаче электрического бензинового насоса пределы изменения частоты вращения двигателя составили от 1500 до 3500 мин<sup>-1</sup>; при 20% сниженной подаче электрического бензинового насоса пределы изменения частоты вращения двигателя составили от 2300 до 5300 мин<sup>-1</sup>. Получено, что чем больше пропускная способность форсунки, тем большая частота вращения двигателя поддерживается при работе одной форсунки. Установлено, что чем ниже подача электрического бензинового насоса, тем ниже пределы изменения частоты вращения двигателя. Так, при 60% сниженной подаче электрического бензинового насоса пределы изменения частоты вращения двигателя составили от 300 (неустойчивый режим работы длился до 780 мин<sup>-1</sup>, при этом двигатель не поддерживал частоту вращения) до 1700 мин<sup>-1</sup>; при 40% сниженной подаче электрического бензинового насоса пределы изменения частоты вращения двигателя составили от 840 до 3600 мин<sup>-1</sup>; при 20% сниженной подаче электрического бензинового насоса пределы изменения частоты вращения двигателя составили от 1200 до 5500 мин<sup>-1</sup>. Данный диагностический признак – пределы изменения частоты вращения двигателя предлагается использовать для определения технического состояния электрического бензинового насоса.

**Ключевые слова:** диагностирование, система топливоподачи, электрический бензиновый насос, пропускная способность, техническое состояние, диагностический параметр, отказ

## DIAGNOSING ELECTRICAL GASOLINE PUMPS INTEGRATED OUTPUT PARAMETERS

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

<sup>1</sup>Chelyabinsk State Agroengineering Academy, Chelyabinsk, e-mail: alexgrits13@mail.ru;

<sup>1</sup>South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, e-mail: glemba77@mail.ru

The article presents the results of studies of the characteristics of electric pumps fuel system of cars on integrated output parameters. Among the most important systems should include fuel system, which accounts for 20–30% of the failures of the car. Diagnosing fuel system is possible using the device – disconnecter electromagnetic injectors. For experimental studies to fix the electrical fuel pumps with different feed: 1. Reduced by 60%; 2. Reduced by 40%; 3. Reduced by 20%. Also sets the solenoid injectors with different bandwidth. The studies were conducted at the research bench to the driving motor of 5,5 kW. The object of the test is the fuel system of the engine ZMZ-4062 – 4 cylinder, 16 valve, with the order of the cylinders 1-3-4-2, equipped with a microprocessor control system. The studies found that the greater the pressure difference is established in the fuel system, the higher the engine speed is supported for one nozzle. It has been established that the lower the electrical gasoline feed pump, the lower limits of variation of the engine speed. Thus, when 60% of the reduced amount of the electric fuel pump limits of change of engine speed ranged from 600 to 1600 min<sup>-1</sup>; at 40% reduction of the pump electric fuel pump outside the engine speed changes made from 1500 to 3500 min<sup>-1</sup>; at 20% reduction of the pump electric fuel pump outside the engine speed changes made from 2300 to 5300 min<sup>-1</sup>. It was found that the larger the bandwidth the nozzle, the greater the engine speed is maintained during operation one nozzle. It has been established that the lower the electrical gasoline feed pump, the lower limits of variation of the engine speed. Thus, when 60% of the reduced amount of the electric fuel pump limits of change of engine speed ranged from 300 (intermittent operation lasted 780 min<sup>-1</sup>, while the engine speed is not supported) up to 1700 min<sup>-1</sup>; at 40% of the reduced amount of the electric fuel pump limits of change of engine speed ranged from 840 to 3600 min<sup>-1</sup>; at 20% of the reduced amount of the electric fuel pump limits of change of engine speed varied from 1200 to 5500 min<sup>-1</sup>. This diagnostic feature – the limits of change of engine speed is proposed to use for determining the technical state of the electric fuel pump.

**Keywords:** diagnostics, fuel system, electric fuel pump, capacity, technical condition, the diagnostic parameter, failure

Современная система топливоподачи (СТ) насыщена электронными, механическими и гидравлическими элементами. Возможными причинами отказа СТ могут быть неисправности электрического бензонасоса (ЭБН), отказ реле включения ЭБН, неис-

правность электропроводки цепи управления или включения ЭБН, засорение топливных фильтров и др. [1, 2, 3].

Как правило, внешне отказы СТ проявляются следующим образом: двигатель не развивает мощности; рывки, провалы, подергивание; неустойчивая работа ДВС на холостом ходу; двигатель резко набирает обороты (газует); не выставляется СО.

Значительную сложность представляет отыскание неисправного элемента, в частности ЭБН. **Целью настоящей работы** является исследование комплексных выходных параметров электрических насосов автомобилей при изменении их технического состояния.

### Теоретические исследования

Для обоснования диагностических режимов и параметров проведем анализ возможных комплексных выходных параметров автомобильных ЭБН.

Расчетная (теоретическая) производительность насоса  $q$ , см<sup>3</sup>/об, за один оборот

(рабочий объем) равна объему, описываемому его поршнями [4]:

$$q = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h \cdot z}{4}, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр цилиндра, см;  $h$  – ход поршня, см;  $z$  – число поршней.

Учитывая, что ход поршня равен двойному эксцентриситету,  $h = 2e$ , получим выражение для объема, описываемого поршнями насоса:

$$q = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot 2 \cdot e \cdot z}{4}. \quad (2)$$

Минутная теоретическая производительность  $Q$ , см<sup>3</sup>/об, будет равна

$$Q = q \cdot n = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot e \cdot z \cdot n}{2}, \quad (3)$$

где  $n$  – число оборотов насоса, мин<sup>-1</sup>.

Расчетная теоретическая модель для СТ, позволяющая исследовать взаимосвязь  $n_{\max}$  от изменения технического состояния отдельных элементов СТ [3]:

$$n_{\max} = \frac{\left( \mu_{\phi} \cdot f_{\phi} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_T} (P_0 - P_K)} \right) \cdot 10^9 \cdot t_p}{8,3 \cdot t_3 \cdot K \cdot i \cdot Q_{\text{Цmax}} \cdot \frac{\tau_{\max}}{T_{\min}}} - \frac{1}{10^{-3} \cdot i \cdot Q_{\text{Цmax}} \cdot \frac{\tau_{\max}}{T_{\min}}}, \quad (4)$$

где  $K$  – коэффициент запаса производительности;  $i$  – число цилиндров двигателя, шт;  $Q_{\text{Цmax}}$  – максимальная цикловая подача при максимальной частоте вращения двигателя, см<sup>3</sup>;  $\tau_{\max}$  – длительность импульса при максимальной цикловой подаче, с;  $T_{\min}$  – минимальный период следования цикловых подач, с;  $n_{\max}$  – максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя, мин<sup>-1</sup>; 30 л/ч – минимальный расход через редукционный клапан, при котором устойчиво поддерживается постоянное давление топлива в системе;  $t_p$  – время выработки топлива форсункой, с;  $t_3$  – время заполнения рампы и топливных магистралей топливом, с;  $\mu_{\phi}$  – коэффициент расхода;  $f_{\phi}$  – площадь сечения форсунки, м<sup>2</sup>;  $\rho_T$  – плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>;  $P_0$  – давление топлива в рампе; МПа;  $P_K$  – противодавление впрыску, МПа.

Величина давления в топливной магистрали определится по выражению

$$P = \frac{Q^2 \cdot \rho}{(\mu_{\text{общ}} \cdot f_{\text{общ}})^2 \cdot 2}. \quad (5)$$

Изменение давления и пропускной способности СТ связаны с изменением расходных характеристик электромагнитных

форсунок, сопротивлением фильтров, техническим состоянием насоса.

В связи с различными механизмами действия неисправностей элементов системы топливоподачи и изменением их технического состояния рассмотрим имитационную модель системы топливоподачи. Так, например, засорение топливного фильтра можно представить последовательным сопротивлением в топливной магистрали, а износ электрического бензинового насоса параллельным сопротивлением. Запишем данное условие для системы топливоподачи:

Общая динамическая пропускная способность  $\mu_{\text{общ}} \cdot f_{\text{общ}}$  всех элементов системы топливоподачи определится:

$$\frac{1}{\mu_{\text{общ}} \cdot f_{\text{общ}}} = \frac{1}{\mu_n \cdot f_n} + \frac{1}{\mu_{\text{посл}} \cdot f_{\text{посл}}}, \quad (6)$$

где  $\mu_{\text{посл}} \cdot f_{\text{посл}}$  – динамическая пропускная способность последовательных элементов, м<sup>2</sup>;  $\mu_n \cdot f_n$  – динамическая пропускная способность насоса, м<sup>2</sup>.

Динамическая пропускная способность последовательных элементов системы топливоподачи определится:

$$\mu_{\text{посл}} \cdot f_{\text{посл}} = \mu_{\phi} \cdot f_{\phi} + \mu_{\text{эмfi}} \cdot f_{\text{эмfi}}, \quad (7)$$

где  $\mu_{\phi} f_{\phi}$  – динамическая пропускная способность фильтра,  $\text{м}^2$ ;  $\mu_{\text{эмфи}} f_{\text{эмфи}}$  – динамическая пропускная способность  $i$ -х электромагнитных форсунок,  $\text{м}^2$ .

#### Методика диагностирования

Для проведения экспериментальных исследований устанавливались ЭБН с различной подачей:

1. Сниженная на 60 %.
2. Сниженная на 40 %.
3. Сниженная на 20 %.

Также ставились ЭМФ с сечением:

1.  $0,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .
2.  $0,07 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .

3.  $0,09 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .

4.  $0,11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .

5.  $0,13 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .

6.  $0,15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .

7.  $0,17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .

8.  $0,19 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .

Исследования проводились на исследовательском стенде с приводным электродвигателем мощностью 5,5 кВт, 4-ступенчатой коробкой передач с возможностью прокрутки двигателя с частотой вращения коленчатого вала двигателя: 1 передача –  $240 \text{ мин}^{-1}$ , 2 передача –  $480 \text{ мин}^{-1}$ , 3 передача –  $880 \text{ мин}^{-1}$ , 4 передача –  $1480 \text{ мин}^{-1}$  (рис. 1).



Рис. 1. Исследовательский стенд для испытаний двигателя ЗМЗ-4062

Реализация данных методов возможна при использовании устройства – отключателя электромагнитных форсунок (догружателя) [3, 5, 6].

#### Результаты экспериментальных исследований

При проведении экспериментальных исследований на первом этапе производили изменение перепада давления в СТ. Последовательно устанавливались неисправные ЭБН. При помощи отключателя электромагнитных форсунок производилось отключение трех форсунок, в работе оставалась одна с  $f = 0,15 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ . В результате получены зависимости максимально возможной частоты вращения ДВС от изменения перепада давления в СТ (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что чем больший перепад давления устанавливается в СТ, тем большая частота вращения ДВС поддерживается при работе одной форсунки. Установлено, что чем ниже подача ЭБН, тем ниже пределы изменения частоты вращения ДВС. Так, при 60 % сниженной

подаче ЭБН пределы изменения частоты вращения ДВС составили от 600 (неустойчивый режим работы длился до  $780 \text{ мин}^{-1}$ , при этом ДВС не поддерживал частоту вращения) до  $1600 \text{ мин}^{-1}$ ; при 40 % сниженной подаче ЭБН пределы изменения частоты вращения ДВС составили от 1500 до  $3500 \text{ мин}^{-1}$ ; при 20 % сниженной подаче ЭБН пределы изменения частоты вращения ДВС составили от 2300 до  $5300 \text{ мин}^{-1}$ . Данный диагностический признак – пределы изменения частоты вращения ДВС – предлагается использовать для определения технического состояния ЭБН.

При проведении экспериментальных исследований на втором этапе производили установку форсунок с различным техническим состоянием. Последовательно устанавливались неисправные ЭБН. При помощи отключателя электромагнитных форсунок производилось отключение трех форсунок, в работе оставалась одна. В результате получены зависимости максимально возможной частоты вращения ДВС от изменения пропускной способности форсунки (рис. 3).

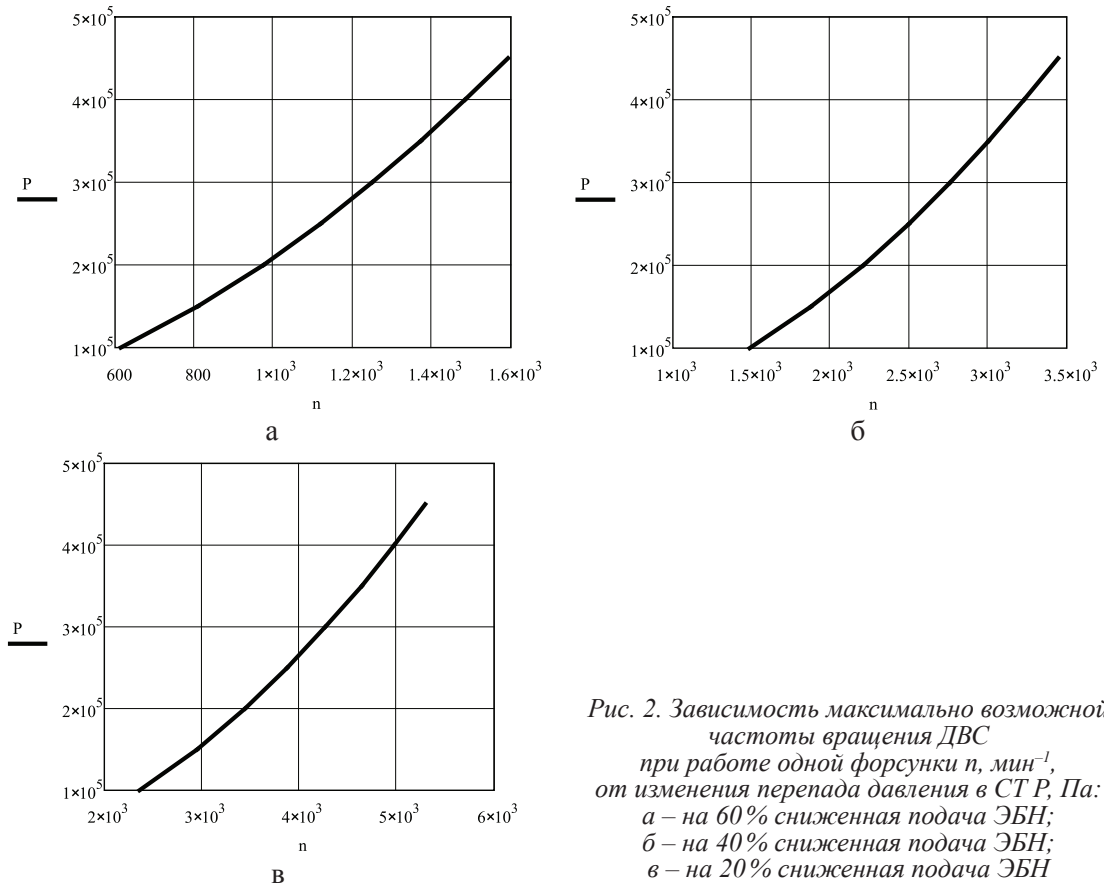


Рис. 2. Зависимость максимально возможной частоты вращения ДВС при работе одной форсунки  $n$ ,  $\text{min}^{-1}$ , от изменения перепада давления в СТ  $P$ ,  $\text{Pa}$ :  
 а – на 60% сниженная подача ЭБН;  
 б – на 40% сниженная подача ЭБН;  
 в – на 20% сниженная подача ЭБН

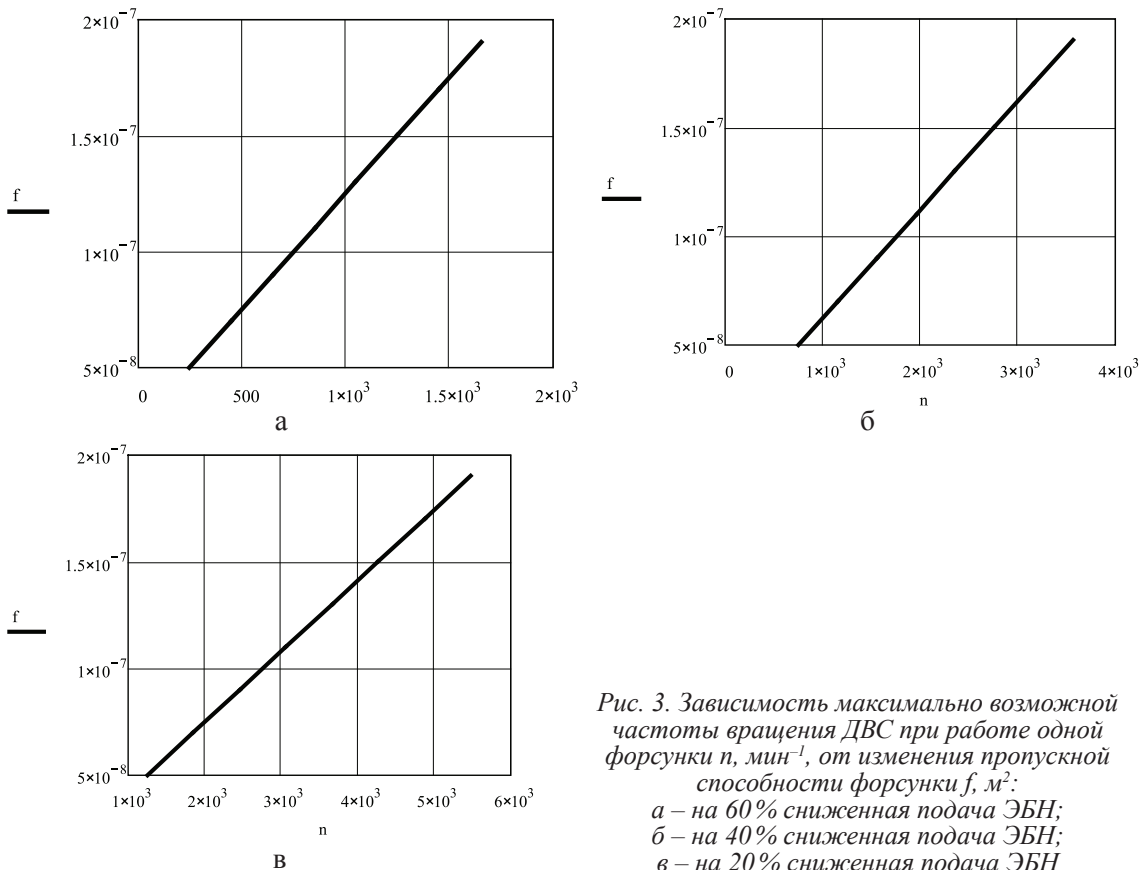


Рис. 3. Зависимость максимально возможной частоты вращения ДВС при работе одной форсунки  $n$ ,  $\text{min}^{-1}$ , от изменения пропускной способности форсунки  $f$ ,  $\text{m}^2$ :  
 а – на 60% сниженная подача ЭБН;  
 б – на 40% сниженная подача ЭБН;  
 в – на 20% сниженная подача ЭБН

Из рис. 3 видно, что чем больше пропускная способность форсунки, тем больше частота вращения ДВС поддерживается при работе одной форсунки. Установлено, что чем ниже подача ЭБН, тем ниже пределы изменения частоты вращения ДВС. Так, при 60 % сниженной подаче ЭБН пределы изменения частоты вращения ДВС составили от 300 (неустойчивый режим работы длился до 780 мин<sup>-1</sup> при этом ДВС не поддерживал частоту вращения) до 1700 мин<sup>-1</sup>; при 40 % сниженной подаче ЭБН пределы изменения частоты вращения ДВС составили от 840 до 3600 мин<sup>-1</sup>; при 20 % сниженной подаче ЭБН пределы изменения частоты вращения ДВС составили от 1200 до 5500 мин<sup>-1</sup>. Данный диагностический признак – пределы изменения частоты вращения ДВС – предлагается использовать для определения технического состояния ЭБН (рис. 2, 3).

### Выводы

К числу наиболее значимых систем следует отнести систему топливоподачи, на долю которой приходится 20–30 % отказов автомобиля. Диагностирование СТ возможно при использовании устройства – отключателя электромагнитных форсунок (догружателя). Установлено, что чем больший перепад давления устанавливается в СТ, тем большая частота вращения ДВС поддерживается при работе одной форсунки. Установлено, что чем больше пропускная способность форсунки, тем больше частота вращения ДВС поддерживается при работе одной форсунки. Установлено, что чем ниже подача ЭБН, тем ниже пределы изменения частоты вращения ДВС. Данный диагностический признак – пределы изменения частоты вращения ДВС – предлагается использовать для определения технического состояния ЭБН.

### Список литературы

1. Бакайкин Д.Д. Диагностирование электромагнитных форсунок бензиновых двигателей автомобилей, эксплуатируемых в сельском хозяйстве: дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2013. – 124 с.

2. Ерохов В.И. Системы впрыска бензиновых двигателей (конструкция, расчет, диагностика): учебник для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2011. – 552 с.

3. 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.

4. Башта Т.М. Расчеты и конструкции самолетных гидравлических устройств. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Государственное научно-техническое издательство ОБОРОНГИЗ, 1961. – 475 с.

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

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

### References

1. Bakajkin D.D. Diagnostirovanie jelemektrornagnitnyh forsunok benzynovyh dvigatelej avtomobilej, jekspluatiruemyh v sel'skom hozjajstve. Dis... kand. tehn. nauk. Cheljabinsk. 2013. 124 p.

2. Erohov V.I. Sistemy vpryska benzynovyh dvigatelej (konstrukcija, raschet, diagnostika) : uchebnik dlja vuzov. M.: Gorjachaja linija Telekom, 2011. 552 p.

3. 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.

4. Bashta T.M. Raschety i konstrukcii samoletnyh gidravlicheskih ustrojstv. Izdanie 3-e pererab. i dop. Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo OBORONGIZ. M., 1961. 475 p.

5. Gricenko A.V., Plaksin A.M. Diagnostirovanie sistemy pitaniija DVS // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. 2014. no. 1, pp. 24–26.

6. Gricenko A.V., Cyganov K.A. Diagnostirovanie jelektricheskikh 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 кафедрой «Технология и организация технического сервиса», Челябинская государственная агроинженерная академия, г. Челябинск.

Работа поступила в редакцию 28.11.2014.