

РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АВТОМОБИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОБЕНЗОНАСОСА

А.В. Пузаков

Оренбургский государственный университет,
г. Оренбург, Россия
and-rew78@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Значительная доля неисправностей топливного насоса связана с электродвигателем (около 40%), техническое состояние которого определяется величиной электрического сопротивления цепи обмотки. Однако непосредственное измерение электрического сопротивления без снятия с автомобиля затруднено, поэтому диагностировать работоспособность электродвигателя (и насоса в целом) можно по величине потребляемого тока.

Материалы и методы. Для ускорения эксперимента и установления точных границ работоспособности электродвигателя использовано физическое моделирование неисправностей с помощью регулируемого активного сопротивления. Критерием работоспособности электрического топливного насоса может служить значение развиваемого давления не менее 0,25 МПа.

Результаты. Увеличение последовательно включенного сопротивления приводит к снижению потребляемой насосом силы тока, а также к снижению его производительности. При достижении критического значения сопротивления 11,2 Ом насос переставал работать. Уменьшение параллельно включенного сопротивления тоже приводит к снижению потребляемой силы тока насосом, поскольку значительная его часть идет в обход электродвигателя через сопротивление. При достижении критического значения сопротивления 0,2 Ом насос переставал работать.

Обсуждение и заключение. Разработана математическая модель работоспособности электродвигателя топливного насоса, позволяющая определить его техническое состояние как с помощью величины электрического сопротивления, так и с помощью потребляемого тока. Измерение силы тока, используемого электродвигателем, может служить основой метода диагностирования электрических топливных насосов непосредственно на автомобиле, снижая трудоемкость и простои автомобилей в ремонте.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электрический топливный насос, электродвигатель, неисправности, физическое моделирование неисправностей, потребляемый ток.

БЛАГОДАРНОСТИ. Выражаю благодарность анонимным рецензентам.

© А.В. Пузаков



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

AUTOMOTIVE ELECTRIC FUEL PUMP'S FAULTS: RESULTS OF THE PHYSICAL MODELING

A.V. Puzakov

Orenburg State University,
Orenburg, Russia
and-rew78@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. A significant proportion of the fuel pump's faults is associated with an electric motor (about 40%), the technical condition of which is determined by the value of the electrical resistance of the winding circuit. However, direct measurement of electrical resistance without removing the vehicle is difficult. Therefore, it is possible to diagnose the performance of the electric motor (and the pump as a whole) by the amount of consumed current.

Materials and methods. The author used physical modeling of faults by adjustable resistance for acceleration of the experiment and establishment of precise limits in the efficiency of the electric motor. The criterion for the operability of an electric fuel pump was the value of the developed pressure of at least 0.25 MPa.

Results. An increase in the series-connected resistance led to a decrease in the current consumption of the pump, as well as a decrease in its performance. When the critical resistance value reached 11.2 ohms, the pump stopped working. A decrease in the resistance connected in parallel also led to a decrease in the current consumed by the pump since a significant part of it is bypassing of the electric motor through resistance. When the critical resistance value of 0.2 Ohm was reached, the pump stopped working.

Discussion and conclusions. As a result, the author develops the mathematical model of the electric motor's efficiency, which allows determining its technical condition by the usage both the value of electrical resistance and the consumed current. Moreover, measuring the current consumed by an electric motor serves as the basis for diagnosing electric fuel pumps directly on a vehicle and reduces the labor intensity and downtime of vehicles under repair.

KEYWORDS: electric fuel pump, electric motor, failures, physical modeling of failures, consumed current.

ACKNOWLEDGEMENTS. The author expresses his gratitude to the reviewers of the paper.

© A.V. Puzakov



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Электрический топливный насос – это главный компонент топливной системы автомобиля, который подает топливо в топливную рампу, а из нее во впускной коллектор двигателя. Все современные автомобили оснащены электрическими топливными насосами, выполняющими роль основного нагнетателя в бензиновых двигателях с распределенным впрыском, или роль топливоподкачивающих в дизельных двигателях и бензиновых двигателях с непосредственным (прямым) впрыском [1]. Снижение работоспособности электрического топливного насоса ведет к потере давления в системе топливоподдачи, повышению токсичности отработавших газов, снижению экономичности двигателя. Так как процедура замены топливного насоса обладает значительной трудоемкостью (в среднем 0,7 чел.-ч) [2] и затруднена в полевых условиях, то актуальной становится задача оперативного диагностирования технического состояния электрического топливного насоса.

К причинам нарушения работоспособности электрического топливного насоса можно отнести некачественное топливо, нарушения правил эксплуатации (работа двигателя с не-

допустимо низким уровнем топлива), низкое качество комплектующих, естественный износ деталей¹ [3]. Это способствует возникновению в топливных насосах следующих неисправностей (рисунок 1).

Вышеперечисленные неисправности проявляются следующим образом: снижение мощности двигателя (28%), нестабильность работы двигателя (21%), повышенный расход топлива (14%), затрудненный пуск двигателя (12%), повышенный шум (10%), запах топлива (10%) и др. [4].

Исследованиями работоспособности электрических топливных насосов занимались отечественные и зарубежные ученые [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Установлено, что для диагностирования электрических топливных насосов в настоящее время применяются следующие методы: по величине давления; по количеству топлива в открытый топливопровод; контроля напряжения и тока питания топливных насосов; по величине и форме импульсов наведенных волн от колебания топлива; по шуму и вибрациям.

В патенте [13] автор предлагает исследовать состояние топливной системы на основе вычисления коэффициента полезного дей-

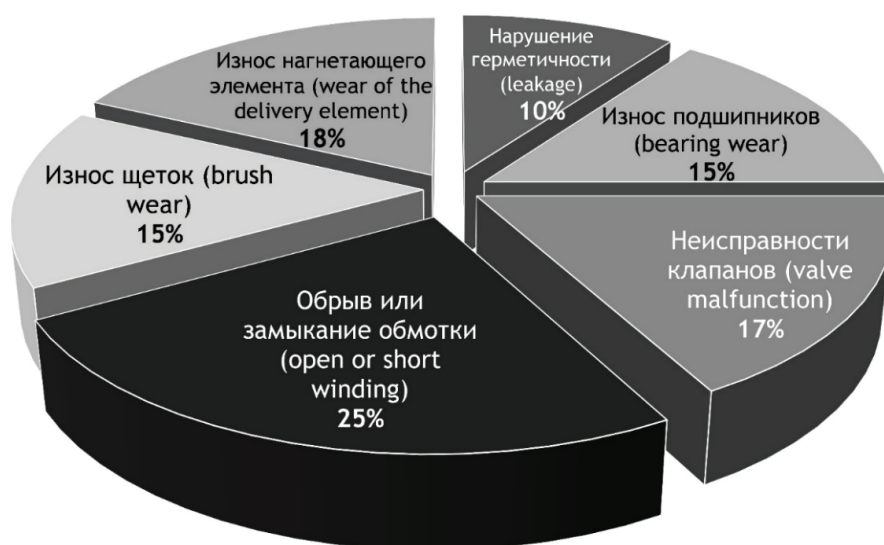


Рисунок 1 – Распределение неисправностей электрических топливных насосов

Figure 1 – Fault distribution of electric fuel pumps

¹ Плаксин А.М., Власов Д.Б. Исследования электрических топливных насосов топливной системы автомобилей // Организация и безопасность дорожного движения : материалы XII Национальной научно-практической конференции с международным участием. Тюмень, ТИУ, 2019. С. 221–228.

ствия (КПД). Гидравлическая мощность (P_{hyd}) в топливной системе и электрическая мощность (P_{el}) электрического топливного насоса сравниваются друг с другом. Если отклонения значений эффективности превышают границы пороговых значений, то это означает наличие неисправности. Недостатком метода является необходимость встраивания амперметра в цепь электродвигателя топливного насоса и необходимость расчётных процедур.

А.В. Гриценко в статье «Исследование режимов работы электрических бензиновых насосов автомобилей при искусственном формировании гидравлического сопротивления» [14] изложил исследования комплексных выходных параметров электрических насосов автомобилей при искусственном формировании гидравлического сопротивления в линии нагнетания. Автор установил, что наиболее

чувствительной к изменению гидравлического сопротивления является разность величин токов при одинаковой величине напряжения питания топливного насоса. Однако в данных исследованиях помимо влияния засоренности топливного тракта не рассмотрены другие неисправности топливных насосов.

В статье «Технологии диагностирования технического состояния электрических бензонасосов автомобилей с микропроцессорной системой управления» [15] автор Д.Б. Власов представил способ диагностирования топливной магистрали путем нахождения взаимосвязи между вращением коленчатого вала двигателя и напряжением электробензонасоса.

На работающем двигателе выключили три свечи зажигания и изменили положение дроссельной заслонки, то есть объем подаваемого топлива (рисунок 2). Получена зависимость

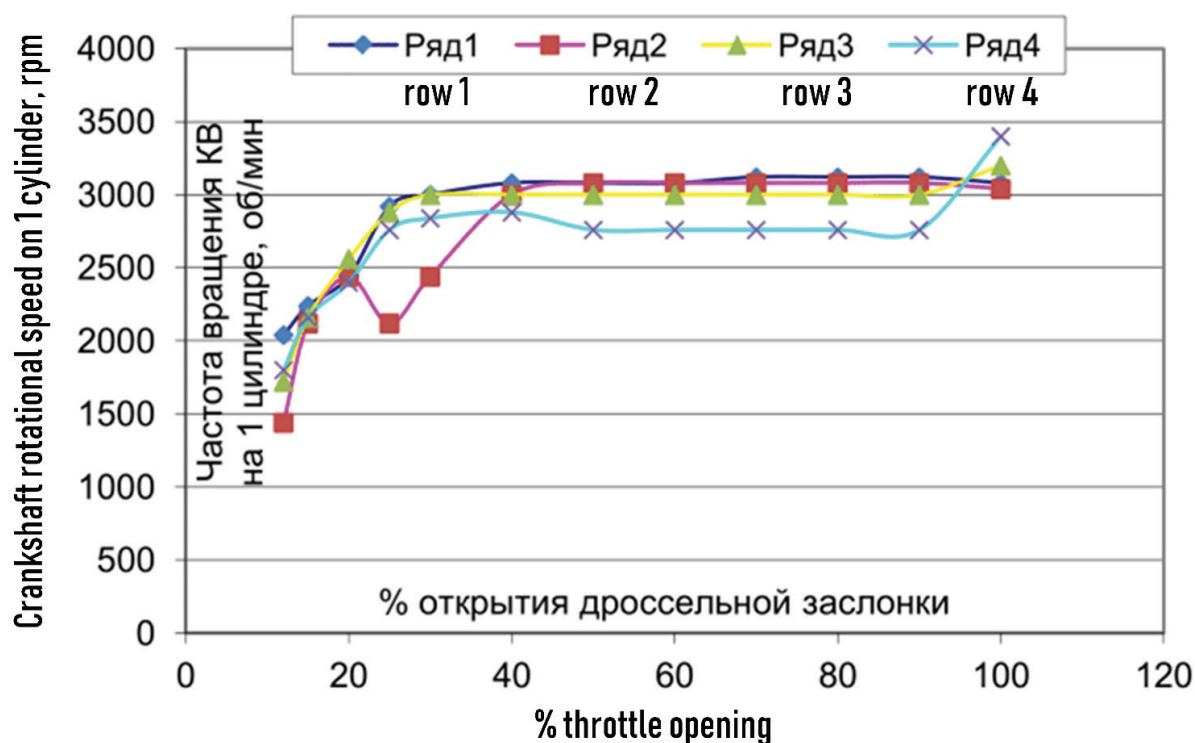


Рисунок 2 – Изменение частоты вращения коленчатого вала в зависимости от степени открытия дроссельной заслонки [16]:

ряд 1 – частота вращения КВ при работе двигателя на 1-м цилиндре; ряд 2 – частота вращения КВ при работе двигателя на 2-м цилиндре; ряд 3 – частота вращения КВ при работе двигателя на 3-м цилиндре; ряд 4 – частота вращения КВ при работе двигателя на 4-м цилиндре

Figure 2 – Crankshaft's speed changing depending on the degree of throttle opening: row 1 – crankshaft rotational speed when the engine is operating on the 1st cylinder; row 2 – crankshaft rotational speed when the engine is running on the 2nd cylinder; row 3 – crankshaft rotational speed when the engine is running on the 3rd cylinder; row 4 – crankshaft rotational speed when the engine is running on the 4th cylinder

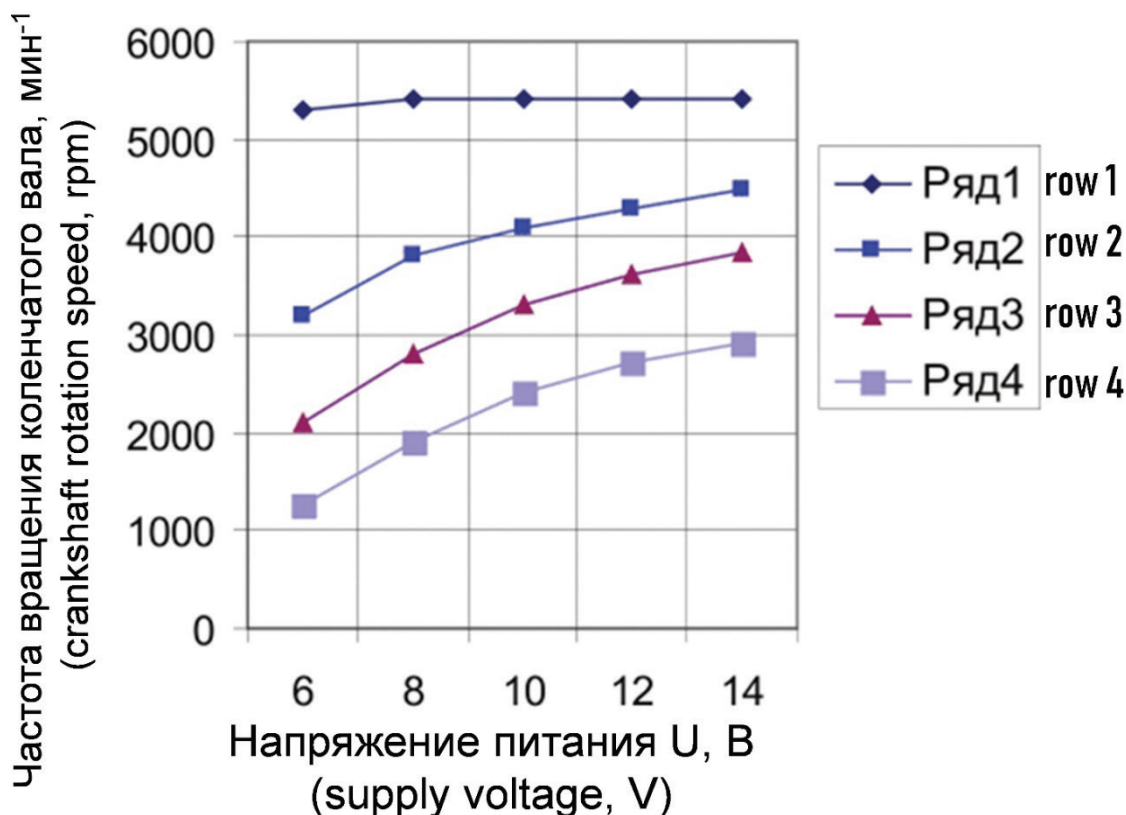


Рисунок 3 – Экспериментальная зависимость максимально развиваемой частоты вращения ДВС от напряжения питания топливного насоса [17]

Figure 3 – Experimental dependence of the maximum developed engine speed of rotation on the supply voltage of the fuel pump

изменения частоты вращения коленчатого вала от степени открытия дроссельной заслонки на работающем двигателе с одним цилиндром. Данная характеристика отображает работу двигателя при использовании нового топливного насоса.

Далее зная, что давление зависит от частоты вращения крыльчатки внутри насоса, автор искусственно воссоздал неисправный топливный насос путем понижения напряжения на его выводах. Чем ниже напряжение, тем меньше производительность насоса. Автор утверждает, что можно исследовать колебания частоты вращения коленчатого вала двигателя в зависимости от параметров работы электрического топливного насоса. Если насос имеет значительный износ, двигатель перестает запускаться.

А.В. Гриценко в статье «Результаты исследования выходных характеристик электрических насосов автомобилей при имитации

сопротивления в нагнетательном топливопроводе» [16] доказывает, что диагностировать топливный насос можно при помощи отключения электромагнитных форсунок.

Для эксперимента были выбраны 10 насосов с разной степенью исправности: 1 – технически исправный топливный насос; 2 – на 40% сниженная производительность; 3 – на 60% сниженная производительность; 4 – на 70% сниженная производительность; 5 – на 80% сниженная производительность. Затем каждый из них подключался к автомобилю, и путем понижения напряжения от 14 В до 6 В производились замеры по оборотам автомобиля (рисунок 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).

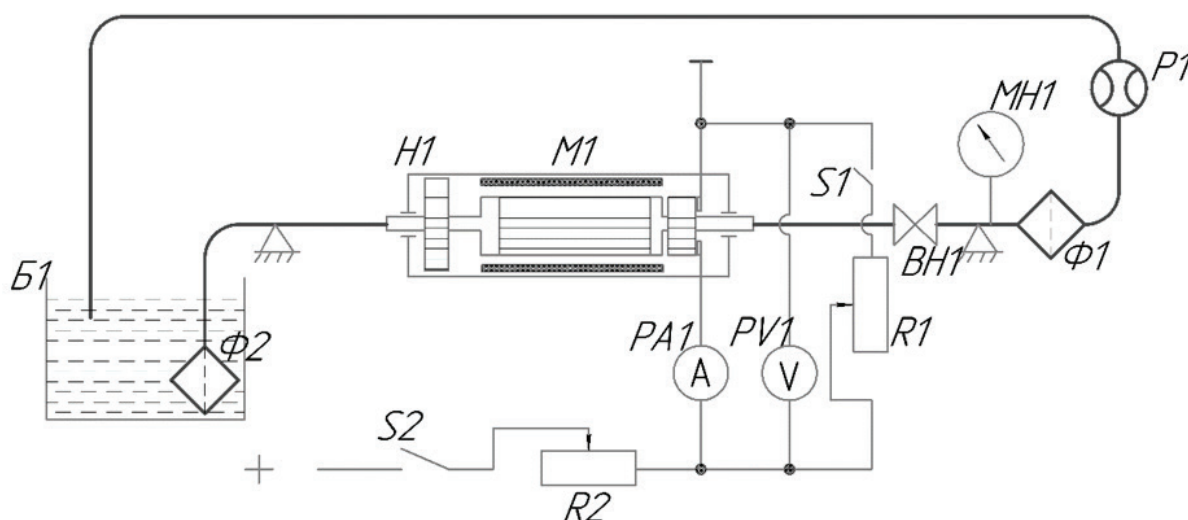


Рисунок 4 – Электрогидравлическая схема стенда:
H1 – насосная часть; M1 – электродвигатель топливного насоса; S1, S2 – выключатель; MH1 – манометр;
P1 – жидкостный ротаметр; BH1 – вентиль; Φ1, Φ2 – фильтр; PA1 – амперметр; PV1 – вольтметр;
R1, R2 – реостат; B1 – бак открытого типа

Figure 4 – Electro-hydraulic scheme of the stand:
H1 – pumping part; M1 – electric motor fuel pump; S1, S2 – switch;
MH1 – manometer; P1 – liquid rotameter; BH1 – valve; Φ1, Φ2 – filter; PA1 – ammeter; PV1 – voltmeter;
R1, R2 – rheostat; B1 – open type tank

Динамика снижения частоты вращения коленчатого вала ДВС в зависимости от напряжения питания электробензонасоса также характеризует степень износа электробензонасоса. Предельной величиной диагностического параметра является $\Delta n = 600 \text{ мин}^{-1}$ (при 40% износе топливного насоса – снижение коэффициента запаса на 1,4).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки технического состояния электрических топливных насосов разработан стенд², включающий в себя емкость с тестовой жидкостью, фильтры, топливный насос 0 580 454 035 BOSCH, жидкостный ротаметр, манометр (рисунок 4). К основным характеристикам насоса можно отнести напорно-расходную ха-

рактеристику и зависимость потребляемого тока (рисунок 5).

Исправный топливный насос характеризуется следующими значениями параметров: при давлении в топливной системе (на манометре) 294,2 кПа (3,0 кгс/см²) производительность, измеренная жидкостным ротаметром, должна составлять не менее 110 дм³/ч, потребляемый ток (на амперметре) при этом должен быть не более 6,5 А³.

При напряжении питания 6 В электрический топливный насос должен создавать в напорной топливной магистрали давление не менее 245,17 кПа (2,5 кгс/см²) без учета производительности. Область допустимых значений заштрихована на рисунке 5.

² Чернышов Д.А., Пузаков А.В. Разработка стенда для параметрических испытаний топливных насосов автомобильных двигателей // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург : ОГУ, 2019. С.1590–1594.

³ Чернышов, Д.А., Пузаков А.В. Параметрические испытания автомобильных электробензонасосов // Транспортные и транспортно-технологические системы : материалы Международной научно-технической конференции. Тюмень : ТИУ, 2019. С. 351–354.

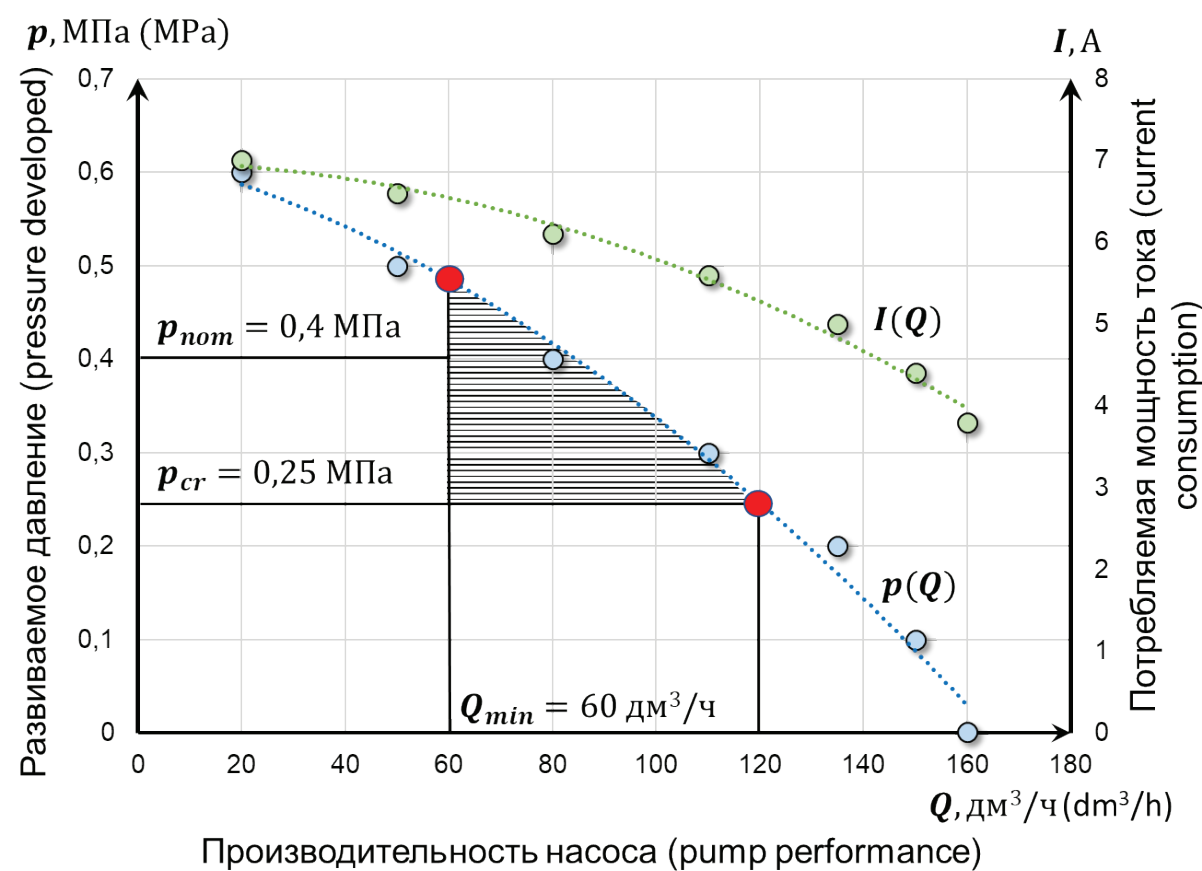


Рисунок 5 – Характеристики исправного электрического топливного насоса

Figure 5 – Characteristics of a good electric fuel pump

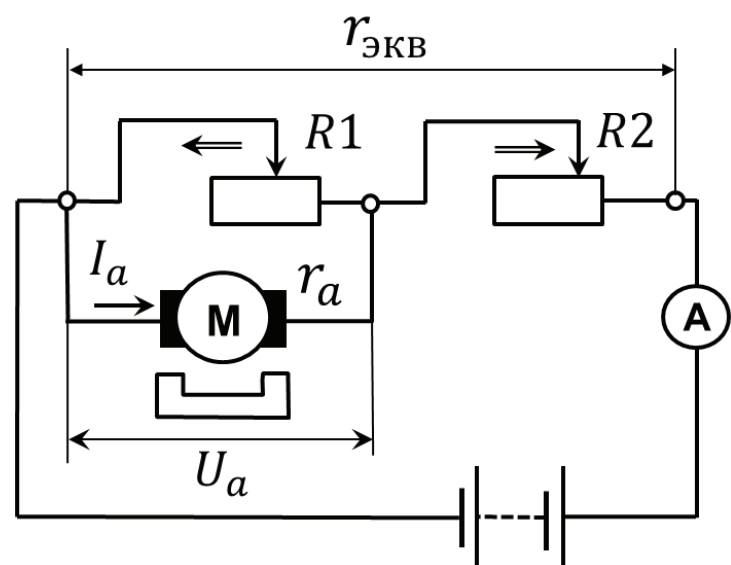


Рисунок 6 – Включение регулируемого сопротивления (реостата) при физическом моделировании неисправностей электродвигателя топливного насоса

Figure 6 – Turn on adjustable resistance (rheostat) in the physical modeling of the fuel pump's faults

Моделирование электрических неисправностей представляет собой процесс имитирования реальных процессов, происходящих с изоляцией обмотки электродвигателя топливного насоса [17].

Разница между моделью и реальным процессом заключается в продолжительности развития неисправности. Старение изоляции происходит при продолжительной эксплуатации, перегрузках и других аномальных режимах. Процесс этот занимает долгое время, и чтобы отследить его необходимо большое количество измерений, с большим интервалом между замерами.

Для ускорения процесса получения информации используются методы физического и имитационного моделирования, преимуществами которых можно считать значительное ускорение эксперимента, возможность моделирования совокупности ряда неисправностей, а также установление четкой границы между работоспособным и неработоспособным состоянием электродвигателя топливного насоса.

Физическое моделирование обрыва обмотки электродвигателя осуществляется принудительным увеличением сопротивления исследуемого элемента путем последовательного включения с ним регулируемого активного сопротивления (реостат R2, рисунок 6). Для моделирования межвитковых замыканий обмотки электродвигателя сопротивление ее уменьшается путем параллельного включения регулируемого активного сопротивления (реостат R1, рисунок 6).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты физического моделирования неисправностей электродвигателя топливного насоса представлены на рисунках 7 и 8. Критерием работоспособности электрического топливного насоса выступает развиваемое давление, снижение которого ниже величины 0,25 МПа является недопустимым. На рисунке 7 обозначены области, соответствующие работоспособному, неисправному и прекращению работы насоса, границы между которыми установлены исходя из вышеназванного критерия.

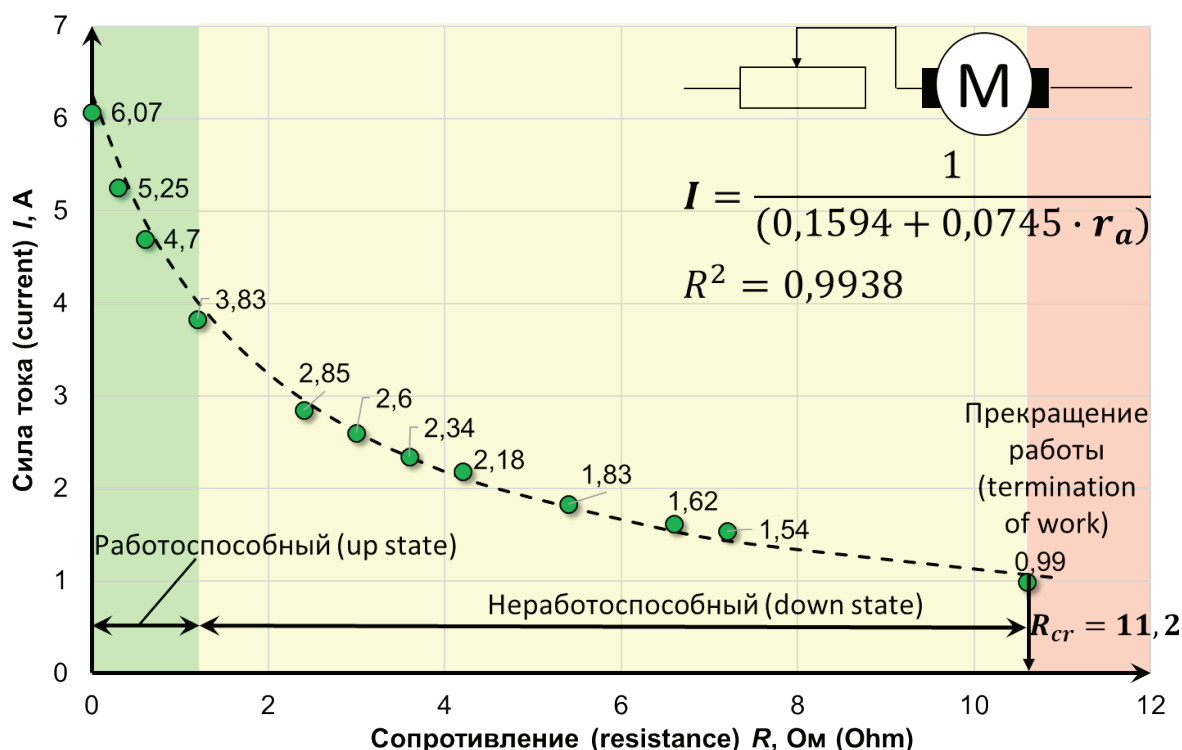


Рисунок 7 – Результаты физического моделирования обрыва обмотки электродвигателя топливного насоса

Figure 7 – Physical modeling results of the winding breakage of the fuel pump's electric motor

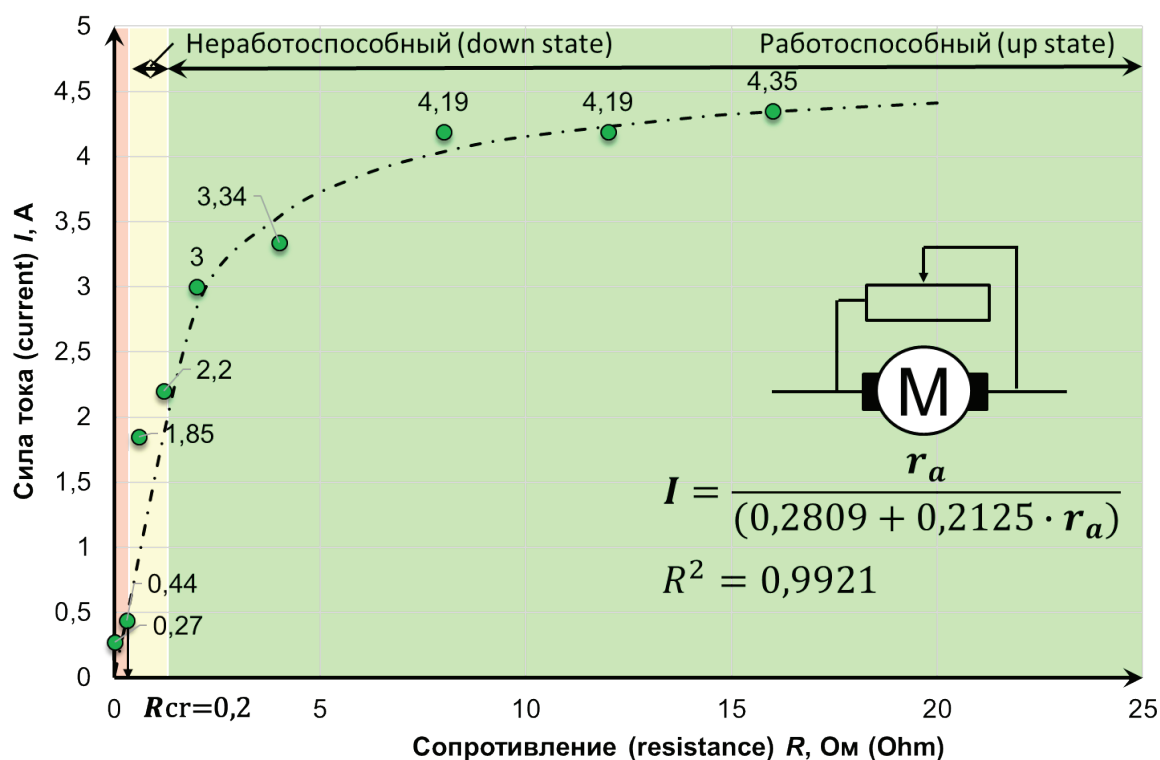


Рисунок 8 – Результаты физического моделирования замыкания обмотки электродвигателя топливного насоса

Figure 8 – Physical modeling results of the winding circuit of the fuel pump's electric motor

При этом исправным считается насос без подключения внешнего сопротивления; работоспособным – обеспечивающий необходимое минимальное давление; неработоспособным – работающий насос, не развивающий необходимое давление.

Увеличение последовательно включенного сопротивления приводит к снижению потребляемой насосом силы тока, а также к снижению его производительности. При достижении критического значения сопротивления 11,2 Ом насос переставал работать (см. рисунок 7).

При моделировании короткого замыкания обмотки электродвигателя (см. рисунок 8) регулируемое активное сопротивление включалось параллельно. Уменьшение сопротивления приводило к уменьшению потребляемой насосом силы тока, поскольку значительная его часть проходила в обход электродвигателя через сопротивление. При достижении критического значения сопротивления 0,2 Ом насос переставал работать.

Таким образом, основным диагностическим параметром работоспособности электродвигателя топливного насоса можно считать силу тока I , которая зависит от напряжения питания, сопротивления обмотки и давления в топливной системе.

Сила тока электродвигателя электрического топливного насоса I , А:

$$I = f(U, r_a, p), \quad (1)$$

где U – напряжение питания, В;

r_a – сопротивление обмотки электродвигателя, Ом;

p – развиваемое давление, МПа.

Анализ регрессионных зависимостей позволил представить силу тока в виде математической модели

$$I = \frac{U \cdot (a_1 + p) \cdot r_a}{a_2 + a_3 \cdot r_a}, \quad (2)$$

где a_1, a_2, a_3 – коэффициенты уравнения регрессии.

Таблица
Критерии работоспособности электродвигателя топливного насоса

Table
Operability criteria of the fuel pump's electric motor

Состояние электродвигателя ЭБН		
Короткое замыкание	Исправный	Обрыв обмотки
= (0,6 – 0,4) Ом – работоспособный	= 0,6±0,05 Ом	= (0,6 – 1,8) Ом – работоспособный
= (0,4 – 0,2) Ом – неработоспособный		= (1,8 – 11,2) Ом – неработоспособный
< 0,2 Ом – прекращение работы		> 11,2 Ом – прекращение работы

Допущением математической модели является непрерывность изменения параметров, а ограничения следующие: $I = (0,27 - 6,07)$ А, $U = (6 - 14)$ В, $R = (0,01 - 18)$ Ом, $p = (0 - 0,6)$ МПа.

Согласно полученным результатам (таблица) величина сопротивления обмотки электродвигателя, изменяясь при возникновении неисправностей, также может служить диагностическим параметром. Сопротивление обмотки электродвигателя исправного топливного насоса составляет $0,6 \pm 0,05$ Ом. При возникновении таких неисправностей как износ щёток, ослабление щёточных пружин происходит увеличение сопротивления, крайним случаем которого является обрыв.

Возникновение межвитковых замыканий обмотки и замыкание на корпус характеризуется уменьшением сопротивления обмотки.

Таким образом, диагностическими параметрами электродвигателя топливного насоса могут выступать как структурный параметр – сопротивление обмотки электродвигателя, – так и диагностический параметр – сила потребляемого тока, – причем измерение силы тока можно производить непосредственно на автомобиле без снятия топливного насоса с помощью токоизмерительных клещей.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Значительная доля неисправностей топливного насоса связана с электродвигателем (около 40%), техническое состояние которого определяется величиной электрического сопротивления цепи обмотки. Однако непосредственное измерение электрического сопротивления без снятия с автомобиля затруднено,

поэтому диагностировать работоспособность электродвигателя (и насоса в целом) можно по величине потребляемого тока.

2. Для ускорения эксперимента и установления точных границ работоспособности электродвигателя использовано физическое моделирование неисправностей с помощью регулируемого активного сопротивления. Критерием отказа электрического топливного насоса служит снижение развиваемого давления ниже величины 0,25 МПа.

3. Для моделирования неисправности электродвигателя последовательно или параллельно с ним включается регулируемое активное сопротивление. Увеличение последовательно включенного сопротивления приводит к снижению потребляемой насосом силы тока, а также к снижению его производительности. При достижении критического значения сопротивления 11,2 Ом насос переставал работать. Уменьшение параллельно включенного сопротивления тоже приводило к снижению потребляемой силы тока насосом, поскольку значительная его часть проходила в обход электродвигателя через сопротивление. При достижении критического значения сопротивления 0,2 Ом насос переставал работать.

4. Согласно полученным результатам величина сопротивления электродвигателя, изменяясь при возникновении неисправностей, может служить диагностическим параметром. Сопротивление исправного насоса составляет 0,6 Ом. При возникновении таких неисправностей как износ щёток, ослабление щёточных пружин происходит увеличение сопротивления, крайним случаем которых является обрыв. Возникновение межвитковых

замыканий обмотки и замыкание на корпус характеризуется уменьшением сопротивления обмотки.

5. Измерение силы тока, потребляемого электродвигателем, может служить основой метода диагностирования электрических топливных насосов непосредственно на автомобиле, снижая трудоемкость и простои автомобилей в ремонте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Electric Fuel Pumps – Models, Damage, Reasons. 4th Edition. – MS Motorservice International GmbH, 2015. 52 p.

2. Залознов И.П., Тержанов А.С., Тыштыков Ж.М. Диагностика электрического бензинового насоса системы впрыска топлива // Сборник научных трудов SWorld. 2014. Т. 2. № 3. С. 47–51.

3. Власов Д.Б. Комплексное диагностирование электрического бензонасоса системы топливоподачи диагностирования / Д.Б. Власов, А.М. Плаксин, А. В. Гриценко, К.В. Глемба, Д.Д. Бакайкин, С.П. Хвостов, Д. А. Абросимов, К.А. Цыганов // Фундаментальные исследования. 2014. №11,12. С. 2610–2614.

4. Гриценко А.В. Выявление скрытых отказов электрических топливных насосов мобильных энергетических средств в сельском хозяйстве методом тестового диагностирования / А.В. Гриценко, К.В. Глемба, Д.Б. Власов // Электрооборудование : эксплуатация и ремонт. 2018. №11. С. 50–57.

5. Глемба К.В. Диагностирование электрических насосов по силе тока питания при сопротивлении в топливосистеме / К.В. Глемба, А.В. Гриценко, К.А. Цыганов, Д.Б. Власов // Евразийское Научное Объединение. 2015. Т. 1. № 11 (11). С. 16–18.

6. Li Ma, Zhao & Dong Zhang, Zhen. (2012). Research and Design of Electric Fuel Pump Testing System. Advanced Materials Research. 510. 123–127. 10.4028/www.scientific.net/AMR.510.123.

7. Zhao, Q.-P & Cheng, Z.-S & Chen, H.-X. (2006). Testing system of automobile fuel pump performance based on vacuum method. 28. 108–110.

8. Adhikari, Saurav & Sachdeva, Nilesh & Prajapati, Dr. D R. (2017). Root cause analysis of defects in automobile fuel pumps: a case

study. International Journal of Management, IT & Engineering. 7. 90–104.

9. Pattipati, Bharath & Pattipati, Krishna & Ghoneim, Youssef & Howell, Mark & Salman, Mutasim. (2013). Electronic Returnless Fuel System Fault Diagnosis and Isolation: A Data-Driven Approach. PHM 2013 - Proceedings of the Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society 2013.

10. B. Vlasov, D & G. Ignatiev, A & V. Almetova, Z. (2019). Methodological Aspects of Diagnostics of Electric Gasoline Pumps in Operation of Automobiles: ICIE 2018. 10.1007/978-3-319-95630-5_236.

11. Бабашев К.А., Азимов М.Б. Моделирование и оптимальное управление процессами функционирования электрической системы топливного насоса // Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2017. №1(7). С. 35–40.

12. Attar, Batoul & Mare, Jean-Charles. (2017). Assessment of Electric Drive for Fuel Pump using Hardware in the Loop Simulation. 320-331. 10.3384/ecp17144320.

13. Kossira S. Verfahren zur Bestimmung eines Fehlerzustands eines Kraftstoffördersystems mit einem Kraftstofffilter. Patent. DE, no. 102006004296A1, 2006.

14. Гриценко А.В., Глемба К.В., Ларин О.Н. Исследование режимов работы электрических бензиновых насосов автомобилей при искусственном формировании гидравлического сопротивления // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2016. №2(30). С. 47–55.

15. Власов Д.Б. Технологии диагностирования электрических бензиновых насосов / Д.Б. Власов, Н. Машрабов, А.М. Плаксин, Д.Д. Бакайкин, А.В. Гриценко // АПК России. 2019. №26/1. С. 51–55.

16. Гриценко А.В. Результаты исследования выходных характеристик электрических насосов автомобилей при имитации сопротивления в нагнетательном топливопроводе / А.В. Гриценко, А.М. Плаксин, К.В. Глемба, И.Г. Ганиев, К.И. Лукомский // Фундаментальные исследования. 2014. № 11. С. 991–993.

17. Филатов М.И., Пузаков А.В. Имитирование неисправностей как инструмент диагностирования автомобильных генераторов // Автомобильная промышленность. 2016. № 1. С. 22–26.

REFERENCES

1. Electric Fuel Pumps – Models, Damage, Reasons. 4th Edition. – MS Motorservice International GmbH, 2015. 52 p.
2. Zaliznov I.P., Tegzhanov A.S., Tyshtykov Zh.M. Diagnostika jelektricheskogo benzinovogo nasosa sistemy vpryska topliva [Diagnostics of the electric gasoline pump of the fuel injection system]. *Collected scientific works of SWorld*. 2014; 2, no 3: 47–51 (in Russian).
3. Vlasov D.B., Plaksin A.M., Gritsenko A.V., Glemba K.V., Bakaykin D.D., Khvostov S.P., Abrosimov D.A., Tsyganov K.A. Kompleksnoe diagnostirovanie jelektricheskogo benzonasosa sistemy toplivopodachi diagnostirovanija [Comprehensive diagnosis of the electric fuel pump of the fuel supply system]. *Basic research*. 2014; 11-12: 2610–2614 (in Russian).
4. Gritsenko A.V., Glemba K.V., Vlasov D.B. Vyjavlenie skrytyh otkazov jelektricheskikh toplivnyh nasosov mobil'nyh jenergeticheskikh sredstv v sel'skom hozjajstve metodom testovogo diagnostirovanija [Detection of hidden failures of electric fuel pumps of mobile power facilities in agriculture by the method of test diagnostics]. *Electrical equipment: operation and repair*. 2018; 11: 50–57 (in Russian).
5. Glemba K.V., Gritsenko A.V., Tsyganov K.A., Vlasov D.B. Diagnostirovanie jelektricheskikh nasosov po sile toka pitaniya pri soprotivlenii v toplivosisteme [Diagnostics of electric pumps according to the power supply current with resistance in the fuel system]. *Eurasian Scientific Association*. 2015; 1, no. 11 (11): 16–18 (in Russian).
6. Li Ma, Zhao & Dong Zhang, Zhen. (2012). Research and Design of Electric Fuel Pump Testing System. *Advanced Materials Research*. 510. 123–127. 10.4028/www.scientific.net/AMR.510.123.
7. Zhao, Q.-P & Cheng, Z.-S & Chen, H.-X. (2006). Testing system of automobile fuel pump performance based on vacuum method. 28. 108–110.
8. Adhikari, Saurav & Sachdeva, Nilesh & Prapapati, Dr. D R. (2017). Root cause analysis of defects in automobile fuel pumps: a case study. *International Journal of Management, IT & Engineering*. 7. 90–104.
9. Pattipati, Bharath & Pattipati, Krishna & Ghoneim, Youssef & Howell, Mark & Salman, Mutasim. (2013). Electronic Returnless Fuel System Fault Diagnosis and Isolation: A Data-Driven Approach. *PHM 2013 Proceedings of the Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society* 2013.
10. B. Vlasov, D & G. Ignatiev, A & V. Almetova, Z. (2019). Methodological Aspects of Diagnostics of Electric Gasoline Pumps in Operation of Automobiles: ICIE 2018. 10.1007/978-3-319-95630-5_236.
11. Babashev K.A., Azimov M.B. Modelirovanie i optimal'noe upravlenie processami funkcionirovanija jelektricheskoy sistemy toplivnogo nasosa [Modeling and optimal control of the functioning processes of the fuel pump electrical system]. *Problems of Computational and Applied Mathematics*. 2017; 1(7): 35–40 (in Russian).
12. Attar, Batoul & Mare, Jean-Charles. (2017). Assessment of Electric Drive for Fuel Pump using Hardware in the Loop Simulation. 320–331. 10.3384/ecp17144320.
13. Kossira S. Verfahren zur Bestimmung eines Fehlerzustands eines Kraftstoffördersystems mit einem Kraftstofffilter. Patent. DE, no. 102006004296A1, 2006.
14. Gritsenko A.V., Glemba K.V., Larin O.N. Issledovanie rezhimov raboty jelektricheskikh benzinovyh nasosov avtomobilej pri iskusstvennom formirovanii gidravlicheskogo soprotivlenija [Research of the electric petrol pumps' operating modes of cars with artificial formation of hydraulic resistance]. *Bulletin of the Ural State University of Communications*. 2016; 2(30): 47–55 (in Russian).
15. Vlasov D.B., Mashrabov N., Plaksin A.M., Власов, Bakaykin D.D., Gritsenko A.V. Tehnologii diagnostirovanija jelektricheskikh benzinovyh nasosov [Diagnostic technologies for electric petrol pumps]. *Russian agrarian and industrial complex*. 2019; 26/1: 51–55 (in Russian).
16. Gritsenko A.V., Plaksin A.M., Glemba K.V., Ganiev I.G., Lukomsky K.I. Rezul'taty issledovaniya vyhodnyh harakteristik jelektricheskikh nasosov avtomobilej pri imitacii soprotivlenija v nagнетател'nom toplivoprovode [Research's results of the output characteristics of electric pumps with imitation of resistance in the injection fuel line]. *Basic research*. 2014; 11: 991–993 (in Russian).
17. Filatov M.I., Puzakov A.V. Imitirovanie neispravnostej kak instrument diagnostirovanija avtomobil'nyh generatorov [Simulation of faults as a tool for diagnosing automotive generators]. *Automotive industry*. 2016; 1: 22–26 (in Russian).

Поступила 21.07.2019, принята к публикации 25.10.2019.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Пузаков Андрей Владимирович – канд. техн. наук, ORCID ID 0000-0002-9754-8165,

Researcher ID G-3297-2015, доц. кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей», Оренбургский государственный университет, (г. Оренбург, пр-т Победы, 13, e-mail: and-rew78@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Andrey V. Puzakov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Maintenance and Repair, Orenburg State University, ORCID ID 0000-0002-9754-8165, Researcher ID G-3297-2015 (Orenburg, 13, Pobedy Ave., e-mail: and-rew78@yandex.ru).