

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.432.3:681.518.5

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-6-20-24

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТИ ПРИ УДАЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКЕ

ЩУКИНА ВАРВАРА НИКОЛАЕВНА , канд. техн. наукfirstnotbarbara@gmail.com ; <https://orcid.org/0000-0002-3344-0358>**ДЕВЯНИН СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ**, д-р техн. наук, профессорdevta@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6776-0432>**КАЗАНЦЕВ СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ**, д-р техн. наук, профессорkspts@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>**ПЕРЕВОЗЧИКОВА НАТАЛИЯ ВАСИЛЬЕВНА**, канд. техн. наук, доцентn.perevozchikova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8529-5631>

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. В настоящее время все более широкое распространение получает удаленная диагностика транспортных средств, позволяющая анализировать данные с уже установленных датчиков, без вмешательства в конструкцию транспортного средства, и выводить только необходимую информацию для поддержания надлежащего уровня технического состояния транспортного средства. С целью разработки алгоритма удаленной диагностики, проводимой в процессе эксплуатации техники без установки дополнительных датчиков на двигателе, с использованием диагностических показателей, контроля расхода топлива и метода выбега, проведены исследования диагностики работы двигателя на холостом ходу. Для анализа технического состояния двигателя и апробации разработанного алгоритма специально последовательно вносились две неисправности: сопротивление впуску воздуха («Засоренный фильтр») и отсутствие подачи топлива в цилиндр («Неисправная форсунка»). Разработанный алгоритм направлен на разделение неисправностей в двигателе внутреннего сгорания, связанных с механическими потерями и ухудшением его технико-экономических характеристик. Для апробации разработанного алгоритма использовалась экспериментальная установка на базе дизельного двигателя внутреннего сгорания IVECO F4HE9687P*J101, позволяющая исследовать работу двигателя в технически исправном состоянии и при специально вносимых неисправностях. Результаты экспериментов показали адекватность разработанного алгоритма диагностики и необходимость его внедрения.

Ключевые слова: удаленная диагностика, диагностика двигателя внутреннего сгорания, механические потери, метод выбега

Формат цитирования: Щукина В.Н., Десянин С.Н., Казанцев С.П., Перевозчикова Н.В. Разработка алгоритма поиска неисправности при удаленной диагностике // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 6. С. 20-24. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-20-24>.

© Щукина В.Н., Десянин С.Н., Казанцев С.П., Перевозчикова Н.В., 2022



ORIGINAL PAPER

DESIGNING A FAULT FINDING ALGORITHM FOR REMOTE DIAGNOSTICS

VARVARA N. SHCHUKINA , PhD (Eng)firstnotbarbara@gmail.com ; <https://orcid.org/0000-0002-3344-0358>**SERGEY N. DEVYANIN**, DSc (Eng), Professordevta@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6776-0432>**SERGEY P. KAZANTSEV**, DSc (Eng), Professorkspts@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>**NATALIA V. PEREVOZCHIKOVA**, PhD (Eng), Associate Professorn.perevozchikova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8529-5631>

Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation

Abstract. Remote diagnostics of vehicles is currently becoming increasingly widespread. The application of this concept will allow analyzing data from pre-installed sensors, without interfering with the vehicle design, doing it remotely and displaying only the necessary information to maintain the proper level of the vehicle's technical condition. To develop an algorithm for remote diagnostics carried out during the operation of machinery without installing additional sensors on the engine, using diagnostic indicators, the retardation method, and monitoring fuel consumption rate, the authors carried out the engine diagnostics at the idling speed. To analyse the technical state of the engine and to test the developed algorithm, two faults were intentionally sequentially introduced: air inlet resistance ("Clogged

filter”) and no fuel supply into the cylinder (“Faulty injector”). The developed algorithm aims at distinguishing faults in the internal combustion engine associated with mechanical losses and the deterioration of its technical and economic performance. An experimental installation on the basis of the diesel engine of internal combustion IVECO F4HE9687P*J101 was used for approbation of the developed algorithm. This installation can examine the operation of technically serviceable engines having intentionally introduced defects. The experimental results have proved the adequacy of the developed diagnostic algorithm and the feasibility of its introduction.

Keywords: remote diagnostics, internal combustion engine diagnostics, mechanical losses, retardation method

For citation: Shchukina V.N., Devyanin S.N., Kazantsev S.P., Perevozchikova N.V. Designing a fault finding algorithm for remote diagnostics. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(6): 20-24. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-20-24>.

Введение. В современных мобильных машинах установлена электронная система управления, в которую входят датчики и реле, позволяющие контролировать состояние различных узлов и систем машины. Информация с этих датчиков стекается в электронный блок управления [1], к которому необходимо подключить сканер для считывания информации с датчиков. Анализ технического состояния машины зависит от возможностей сканера получать расширенные показатели для одной или группы моделей. Отсутствие специализированного сканера не позволяет постоянно в процессе эксплуатации контролировать техническое состояние машин. К тому же это оборудование является весьма дорогостоящим [2], поэтому необходимо разрабатывать более универсальные и менее затратные методы диагностирования.

Одним из важных частей транспортного средства является двигатель, работу которого можно контролировать, отслеживая показатели расхода топлива [3]. Контроль расхода топлива позволяет следить за различными процессами, протекающими в двигателе: износом различных составных частей двигателя, экономичностью расхода топлива, экологичностью выхлопа и др. – словом, помогает проследить за качественной работой двигателя и рассчитать изменение механических потерь. Благодаря современным системам управления можно постоянно контролировать расход топлива в двигателе [4] и отслеживать его изменение во время эксплуатации.

Для разработки простой и эффективной системы удаленной диагностики можно воспользоваться информацией с установленных производителем датчиков [5]. Анализ данной информации по разработанному алгоритму позволит косвенно судить о техническом состоянии различных узлов и систем двигателя без установки дополнительных датчиков.

Для выбора режима диагностики проанализированы режимы работы двигателя под нагрузкой и без нагрузки. Поскольку при работе двигателя под нагрузкой сложно контролировать ее изменение, принято решение использовать режим без нагрузки – режим холостого хода. При эксплуатации различных видов техники подсчитана доля работы различных типов автотранспортных средств на холостом ходу¹:

- легковой автомобиль (до 3,5 т) – 16%;
- грузовой автомобиль (свыше 3,5 т) – 17%;
- городской автобус – 23%;
- сельскохозяйственная техника – 25%.

Отметим, для сельскохозяйственной техники время работы на режиме холостого хода составляет 25%, то есть 1/4 от всего времени работы. Это существенная часть от времени работы, поэтому использовать режим холостого хода для диагностирования технического состояния, не прерывая процесс работы, достаточно выгодно и удобно.

¹ ISO 8178-4-2013. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Ч. 4. Испытательные циклы для двигателей различного применения на установившихся режимах. М.: Стандартинформ, 2014. 23 с.

Цель исследований: разработать алгоритм удаленной диагностики, проводимой в процессе эксплуатации техники без установки дополнительных датчиков на двигателе; осуществить экспериментальную апробацию предложенного алгоритма.

Материалы и методы. Работа двигателя на холостом ходу направлена на преодоление механических потерь, поэтому необходимо выбрать методы диагностики этих потерь.

Анализ различных методов определения механических потерь в двигателе показал, что самыми применимыми в процессе эксплуатации являются проведение выбега и контроль расхода топлива [6].

Для мониторинга механических потерь методом контроля расхода топлива необходимо представить зависимость одного от другого. Исходя из теории двигателей внутреннего сгорания [7]

$$N_i = \text{const} \cdot n \cdot g_{\text{ц}} \cdot \eta_i, \quad (1)$$

где N_i – индикаторная мощность, Вт; n – частота вращения коленчатого вала, об/мин; $g_{\text{ц}}$ – цикловая подача топлива, кг/цикл; η_i – индикаторный коэффициент полезного действия (КПД).

В константу входят число цилиндров, тактность двигателя и теплотворная способность топлива. Для каждого двигателя, эксплуатируемого на определенном топливе, существует своя константа.

При работе двигателя на холостом ходу вся производимая двигателем индикаторная мощность направлена на механические потери [8]. Исходя из этого из выражения (1) можно получить цикловую подачу топлива:

$$g_{\text{ц}} = \frac{N_m}{\text{const} \cdot n \cdot \eta_i}. \quad (2)$$

Согласно выражению (2) при работе двигателя на контролируемой частоте вращения и на известном качестве топлива изменение цикловой подачи топлива зависит от изменения мощности механических потерь и индикаторного КПД.

Изменение расхода топлива будет свидетельствовать о наличии неисправности, которая в свою очередь зависит либо от механических потерь, либо от индикаторного КПД. Поэтому необходимо применение второго метода определения механических потерь – метода выбега.

Метод выбега основывается на определении механических потерь с помощью измерения угловой частоты вращения при резком отключении подачи топлива. Время замедления частоты вращения зависит от момента сопротивления и от момента инерции вращающихся масс:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{N_m \omega}{J} = \frac{M_c}{J}, \quad (3)$$

где ε – угловое ускорение/замедление, с^{-2} ; ω – угловая частота вращения, с^{-1} ; N_m – мощность механических потерь двигателя, Вт; M_c – момент сопротивления, Н·м; J – момент инерции вращающихся масс, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Поскольку массу двигателя можно считать постоянной, момент инерции вращающихся масс тоже будет величиной неизменной. Изменение времени падения угловой частоты вращения напрямую зависит от изменения показателей механических потерь двигателя.

Для определения отклонения цикловой подачи топлива, возникающего при появлении неисправности, необходимо найти отношение подачи неисправного двигателя к исправному. Поскольку двигатель один, неизменяемые показатели в отношении (2) сократятся, а мощность механических потерь можно выразить как (3) – через угловое ускорение. Выражение для расчета изменения цикловой подачи топлива примет вид:

$$\Delta g = \frac{\eta_{i3} \cdot \epsilon_n}{\eta_{in} \cdot \epsilon_s}, \quad (4)$$

где Δg – изменение цикловой подачи топлива; η_{i3} – индикаторный КПД для эталонного двигателя; η_{in} – индикаторный КПД для неисправного двигателя; ϵ_n – угловое ускорение для исправного двигателя ϵ_s – угловое ускорение для исправного двигателя.

Для удобства дальнейших расчетов отношение изменения цикловой подачи предлагается считать диагностическим показателем D_1 , а отношение угловых ускорений для исправного и неисправного двигателя – D_2 . Тогда отношение (4) примет вид:

$$D_1 = \frac{\eta_{i3}}{\eta_{in}} \cdot D_2. \quad (5)$$

Чтобы оценить влияние мощности механических потерь и индикаторного КПД, предлагается рассчитывать их влияние на изменение расхода топлива в долях:

$$\delta_1 = D_2 - 1; \quad (6)$$

$$\delta_2 = D_1 / D_2 - 1, \quad (7)$$

где δ_1 – оценка влияния мощности механических потерь; δ_2 – оценка влияния индикаторного КПД.

Порядок диагностики двигателя внутреннего сгорания. На первом этапе диагностики постоянно контролируется расход топлива на холостом ходу. Исключение составляет процесс пуска и прогрева двигателя, так как работа идет еще на неустановившихся режимах. Постоянно сравнивается расход топлива, который есть в данный момент, с эталонным расходом топлива. Если значения действительного расхода топлива не выходят за границы допуска, то двигатель считается исправно работающим и в дальнейшей диагностике нет необходимости. Если значения действительного расхода топлива превышают границы допуска, необходимо перейти ко второму этапу оценки технического состояния двигателя – к выбегу и расчету диагностического показателя D_2 .

Для определения причины неисправности (это факторы, влияющие либо на механические потери, либо на индикаторные показатели) необходимо сравнить два диагностических показателя. Равенство показателей (или если их значения близки) свидетельствует о возникновении неисправности в узлах и агрегатах, оказывающих влияние на мощность механических потерь.

В случае, когда изменение цикловой подачи превышает изменение углового ускорения ($D_1 > D_2$) или когда $D_2 = 1$, можно судить о неисправности в двигателе, возникшей по причине появления проблем с факторами, влияющими на индикаторные показатели.

В случае $D_2 > 1$ и $D_1 \neq D_2$ неисправность в двигателе возникла ввиду факторов, влияющих на индикаторные показатели и на мощность механических потерь.

Для апробации разработанного алгоритма собрана установка на базе дизельного двигателя внутреннего сгорания IVECO F4NE9687P*J101 (максимальная мощность – 175 кВт, максимальный крутящий момент – 1020 Н·м) [9]. Для фиксации и анализа значений использовалась современная вычислительная техника [10].

Результаты и их обсуждение. Для сравнения экспериментально полученных данных в процессе диагностики с показателями эталонного двигателя построены эталонные поверхности для исправного двигателя на режиме холостого хода (рис. 1, 2).

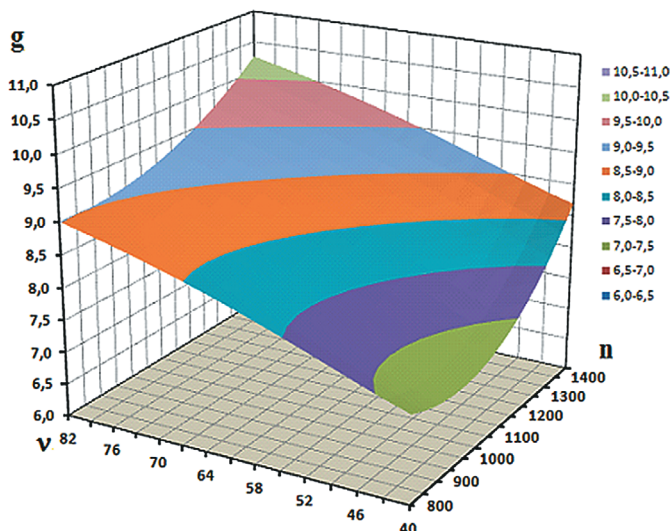


Рис. 1. Эталонная поверхность изменения цикловой подачи топлива в зависимости от вязкости (v, сСт) и частоты вращения (n, мин⁻¹)

Fig. 1. Reference surface of the change in cyclic fuel supply, depending on viscosity (v, cSt) and speed (n, min⁻¹)

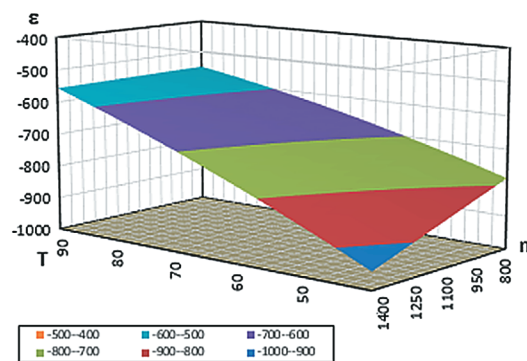


Рис. 2. Эталонная поверхность изменения углового ускорения (ε, с⁻²) в зависимости от температуры (T, °С) и частоты вращения (n, мин⁻¹)

Fig. 2. Reference surface of the change in angular acceleration (ε, s⁻²), depending on temperature (T, °C) and speed (n, min⁻¹)

Для анализа технического состояния двигателя и апробации разработанного алгоритма специально последовательно вносились неисправности, влияющие на механические потери и индикаторные показатели. Первая неисправность – сопротивление впуску воздуха («Засоренный фильтр»), вторая – отсутствие подачи топлива в цилиндр («Неисправная форсунка»). Двигатель, который был использован на испытательном стенде, оснащен собственной системой диагностики, и кодов ошибок в процессе испытаний обнаружено

не было. При внесении каждой неисправности двигатель приводился в исправное состояние.

При экспериментальной апробации диапазон измерений частоты вращения находился в границе значений 700...1550 мин⁻¹, шаг измерений составлял 100 мин⁻¹, диапазон температур работы двигателя – 20...95°C. Фиксировались различные показатели двигателя, самыми главными из которых были цикловая подача топлива, температура масла и расход воздуха. Эталонные значения сравнивались со значениями, полученными при внесении неисправностей. Построены графики, показывающие отклонение цикловой подачи от эталонной подачи топлива при разной температуре масла (рис. 3).

На графиках рисунка 3 зафиксирован выход за границу допуска отклонений, установленную на проводимые эксперименты в 10%. Исходя из этого техническое состояние двигателя можно считать неисправным. Нужно приступить ко второму шагу диагностирования причины появления поломки. Для этих целей был рассчитан первый показатель D_1 . На построенных графиках отмечены значения показателя для температур масла 60 и 70°C.

На следующем шаге диагностики (выбеге) к электронному блоку управления двигателем был подключен сканер Delphi, с помощью которого отключалась подача топлива

и фиксировались значения частоты вращения до прекращения работы двигателя. На данном этапе был определен диагностический показатель D_2 . График зависимости момента сопротивления от угловой скорости для исправного двигателя (кривая 1) и для неисправного (кривая 2) представлен на рисунке 4, где также приведён характер изменения показателя D_2 (кривая 3).

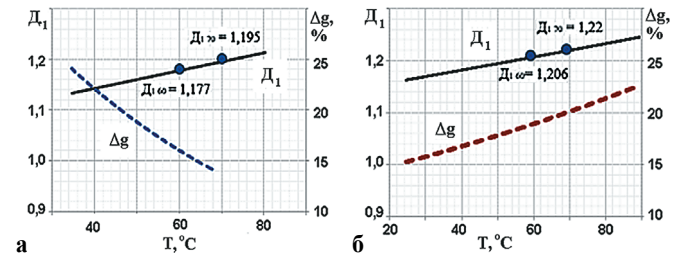


Рис. 3. Отклонение цикловой подачи от эталонной подачи топлива в процессе работы двигателя:

- а – неисправность «Засоренный фильтр»;
- б – неисправность «Неисправная форсунка»

Fig. 3. Deviation of the cyclic supply from the reference fuel supply during the engine operation: a – malfunction “Clogged filter”; b – malfunction “Faulty injector”

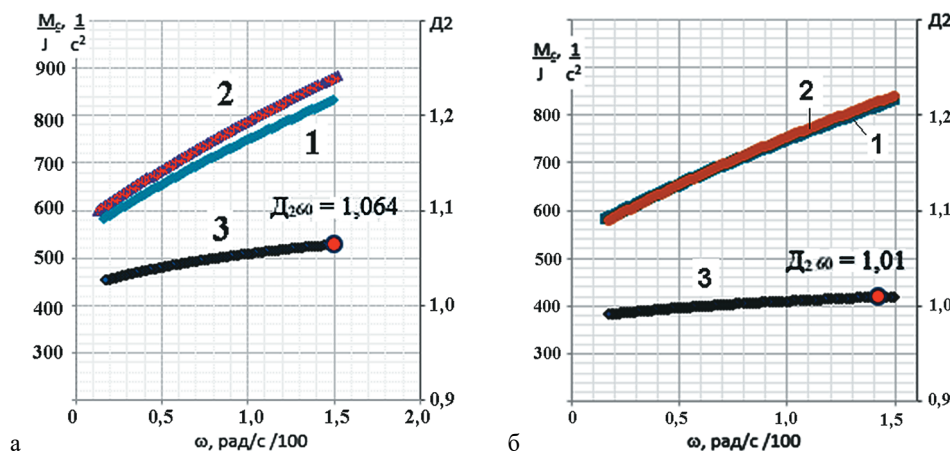


Рис. 4. Экспериментально полученные кривые при проведении выбега: а – неисправность «Засоренный фильтр»; б – неисправность «Неисправная форсунка»

Fig. 4. Experimentally obtained curves when using the retardation method: a – malfunction “Clogged filter”; b – malfunction “Faulty injector”

В таблице приведены значения диагностических показателей D_1 и D_2 для температур 60 и 70°C, рассчитано влияние мощности механических потерь и индикаторного КПД на отклонение от эталонного показателя расхода топлива с помощью показателей δ_1 и δ_2

Анализ неисправности «Засоренный фильтр» показал, что рост расхода топлива увеличивается пропорционально с ростом мощности механических потерь двигателя (рост составил 5...6% от эталонных значений) и с уменьшением индикаторного КПД (уменьшение составило 11...13% от эталонных значений).

Объяснить отклонение мощности механических потерь можно затрудненным впуском воздуха, ввиду чего увеличилась работа поршня на этапе насосного хода.

Уменьшение индикаторного КПД можно объяснить ухудшением воспламенения топливно-воздушной смеси по причине затрудненного впуска, при котором давление и температура в конце сжатия понизились.

Таблица
Значения диагностических показателей D_1 и D_2

Table

Values of diagnostic indicators $D1$ and $D2$

Показатель Index	Неисправность «Засоренный фильтр» Malfunction “Clogged filter”		Неисправность «Неисправная форсунка» Malfunction “Faulty injector”	
	60°C	70°C	60°C	70°C
D_1	1,177	1,195	1,206	1,22
D_2	1,064	1,054	1,01 ≈ 1	0,995 ≈ 1
δ_1	1,064	1,054	0	0
δ_2	0,11	0,13	0,21	0,22

Анализ неисправности «Неисправная форсунка» показал, что мощность механических потерь в двигателе не изменилась. Поэтому изменению расхода топлива способствовали

только факторы, влияющие на индикаторный КПД (уменьшение показателя составило 21...22% от эталонных значений).

Объяснить падение индикаторного КПД можно работой двигателя на уменьшенном количестве форсунок 5 из 6. В теории это должно привести к увеличению подачи топлива в 6/5 раза, или на 20%, что и было получено на практике.

Предложенный алгоритм выявления причины неисправности может применяться в удаленном диагностировании технического состояния транспортных средств.

При удаленной диагностике с использованием разработанного алгоритма для связи транспортного средства с различными службами (сервер, оператор, станция технического обслуживания) на электронный блок управления предлагается установить приёмно-передающее устройство. Данные с электронного блока управления с помощью приемно-передающего устройства будут передаваться на сервер для

дальнейшего хранения и анализа. Если произойдет поломка или ресурс любого узла либо агрегата будет заканчиваться, проанализированные данные будут передаваться лицам, принимающим решения (станция технического обслуживания, водитель и т.п.), для устранения поломки. Преимуществом данной системы будет оперативность и независимость от стационарных методов диагностики.

Выводы

Предложенный алгоритм диагностики двигателя внутреннего сгорания, адекватность работы которого доказана экспериментальными данными, позволяет удаленно судить о техническом состоянии двигателя с помощью диагностических показателей D_1 (оценки изменения цикловой подачи) и D_2 (оценки изменения углового ускорения). Сравнение этих двух показателей позволяет выявить первоисточник неисправности.

Список использованных источников

1. Тихомиров М.В., Шаров Д.Н., Крутов В.В., Соколов О.Н., Хрящёв Ю.Е. Анализ методов автоматической диагностики транспортных дизелей // История и перспективы развития транспорта на севере России. 2012. № 1. С. 136-139. EDN: REOBZN
2. Долгов И.А., Александров А.В. Мобильный комплекс для регистрации и обработки параметров работы автомобильного двигателя // Журнал автомобильных инженеров. 2017. № 2 (103). С. 11-17. EDN: YQFRLV.
3. Уханов А.П., Тимохин С.В., Уханов Д.А., Данилин А.М. Экономия топлива при эксплуатации автотракторных средств на холостом ходу // Новые промышленные технологии. 2004. № 2. С. 26-27.
4. Martyr A.J., Plint M.A. Engine testing: The design, building, modification and use of powertrain test facilities. US: Elsevier, 2012. 571 p.
5. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н. Оптимизация обнаружения и измерения параметров ДВС измерительной экспертной системой // Ползуновский вестник. 2011. № 2-2. С. 275-279. EDN: PBJJEF
6. Щукина В.Н. Анализ методов определения механических потерь для их последующего применения в процессе эксплуатации // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2016. № 5 (75). С. 18-22. EDN: WMULAT.
7. Ананьин А.Д. Диагностика и техническое обслуживание машин: Учебник / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов и др. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 432 с. EDN: QCEIGN.
8. Лобанов П.В., Кривцов С.Н. К вопросу определения допустимых значений диагностических параметров, функционально связанных с параметрами технического состояния аккумуляторной топливно-подающей системы дизельного двигателя автомобиля // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: Сборник материалов 99-й Международной научно-технической конференции. 2017. С. 421-427. EDN: YSXVNZ.
9. Iveco. NEF Tier 3 series. Technical and repair manual. Milan: Satiz technical publishing, 2007. 580 p.
10. Девянин С.Н., Щукина В.Н., Павлов Я.Д., Симоненко А.Н. Экспериментальная установка с дизельным двигателем IVECO // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2018. № 3 (85). С. 30-34. <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-3-30-34>

Критерии авторства

Щукина В.Н., Девянин С.Н., Казанцев С.П., Перевозчикова Н.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Щукина В.Н., Девянин С.Н., Казанцев С.П., Перевозчикова Н.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 21.04.2022

Одобрена после рецензирования 16.05.2022

Принята к публикации 30.06.2022

References

1. Tikhomirov M.V., Sharov D.N., Krutov V.V., Sokolov O.N., Khryashchov Yu.E. Analysis of methods for estimating the cost of diesel engines. *Istoriya i perspektivy razvitiya transporta na severe Rossii*. 2012; 1: 136-139. (In Rus.)
2. Dolgov I.A., Aleksandrov A.V. Mobile unit for registration and processing of the vehicle engine parameters. *Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov*. 2017; 2(103): 11-17. (In Rus.)
3. Ukhanov A.P., Timokhin S.V., Ukhanov D.A., Danilin A.M. Fuel economy during the idle operation of autotractor vehicles. *Novye promyshlennye tekhnologii*. 2004; 2: 26-27. (In Rus.)
4. Martyr A.J., Plint M.A. Engine testing: The design, building, modification and use of powertrain test facilities. US: Elsevier, 2012. 571 p.
5. Dobrolyubov I.P., Savchenko O.F., Ol'shevskiy S.N. Optimizatsiya obnaruzheniya i izmereniya parametrov DVS izmeritel'noy ekspertnoy sistemoy [Optimizing the detection and measurement of internal combustion engine parameters by a measuring expert system]. *Polzunovskiy vestnik*. 2011; 2-2: 275-279. (In Rus.)
6. Shchukina V.N. Analysis of methods for determining mechanical losses for their subsequent use in the process of operation. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2016; 5(75): 18-22. (In Rus.)
7. Ananin A.D., Mikhlin V.M., Gabitov I.I. et al. Diagnostics and maintenance of vehicles: study manual for university students. Moscow, Izdatel'skiy tsentr "Akademiya", 2008. 432 p. (In Rus.)
8. Lobanov P.V., Krivtsov S.N. On the issue of determining the permissible values of diagnostic parameters functionally related to the technical condition parameters of the battery fuel supply system of a vehicle diesel engine. *Bezopasnost' kolesnykh transportnykh sredstv v usloviyakh ekspluatatsii: Sbornik materialov 99-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. 2017: 421-427. (In Rus.)
9. Iveco. NEF Tier 3 series. Technical and repair manual. Milan: Satiz technical publishing, 2007. 580 p.
10. Devyanin S.N., Shchukina V.N., Pavlov Ya.D., Simonenko A.N. Experimental installation with an IVECO diesel engine. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2018; 3(85): 30-34. <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-3-30-34> (In Rus.)

Contribution

V.N. Shchukina, S.N. Devyanin, S.P. Kazantsev and N.V. Perevozchikova performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. V.N. Shchukina, S.N. Devyanin, S.P. Kazantsev and N.V. Perevozchikova have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 21.04.2022

Approved after reviewing 16.05.2022

Accepted for publication 30.06.2022