

teplozashchitnykh sloiakh odezhdy / A.A. Shulzhenko, M.B. Modestov, B.A. Mnev // Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin. – 2011. – No. 4. – S. 110-117.

15. Ovchinnikov, D.L. Razrabotka prototipa «umnoi» odezhdy s distantsionnym kontrol'em i upravleniem temperaturoi posredstvom mikroelektronnogo ispolneniia / D.L. Ovchinnikov, A.Iu. Tychkov, D.S. Chernyshov, A.D. Sashina // Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol. – 2022. – No. 4 (42). – S. 102-109.

16. Luchakov, Iu.I. Mekhanizm teploperenosa v razlichnykh oblastiakh tela cheloveka / Iu.I. Luchakov, A.D. Nozdrachev // Izvestiia Rossiiskoi akademii nauk. Seriia biologicheskaja. – 2009. – No. 1. – S. 64-69.

17. Kozyreva, T.V. Funktsionalnye izmeneniia pri adaptatsii organizma k kholodu / T.V. Kozyreva,

E.Ia. Tkachenko, T.G. Simonova // Uspekhi fiziologicheskikh nauk. – 2003. – T. 34. – No. 2. – S. 76-84.

18. Patent na izobretenie RF 2463748. Sposob izgotovleniia tolstoplenochnogo rezistivnogo nagrevatelya / I.Iu. Shelekhov, I.V. Shelekhova, N.A. Ivanov, B.Ch. Kim, I.M. Golovnykh // Data registratsii 28.01.2011, opublikovano 10.10.2012. – Biul. No. 28.

19. Olshevskii, A.P. Primenenie metoda Fange-ra dlia otsenki mikroklimata auditorii politekhnicheskogo universiteta / A.P. Olshevskii, O.K. Tushkova, D.D. Zaborova, K.I. Strelets // Nedelia nauki ISI: sbornik materialov Vserossiiskoi konferentsii. – Sankt-Peterburg, 2022. – S. 456-459.



УДК 62.523.005
DOI: 10.53083/1996-4277-2024-239-9-97-103

Д.А. Галин, Л.О. Круш, Н.В. Раков
D.A. Galin, L.O. Krush, N.V. Rakov

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ СРЕДСТВ

MULTIFUNCTIONAL DIAGNOSTIC COMPLEX TO ASSESS THE TECHNICAL CONDITION OF MOTOR-AND-TRACTOR VEHICLES

Ключевые слова: диагностика, электронный блок управления, ЭБУ, система управления двигателем, топливный насос, сканер, программирование, рабочие характеристики, датчики, ELM327.

Приведены результаты исследования по разработке технологического оборудования для предупреждения неисправностей двигателей автотракторных средств. При проведении регламентных работ по техническому обслуживанию автомобилей необходимо контролировать состояние элементов данных систем и при необходимости устранять возникшие повреждения.

Для проведения исследований были применены электронные блоки управления дизельного двигателя легкового автомобиля EDC16C34 и SID206. Блок управления двигателем имеет разрядность 32 бит (присутствует алгоритм «антитюннинга»), увеличенный объем внутренней flash-памяти до 4 МБ. Пределы измеряемых величин следующие: давление топлива – до 1800 бар; давление воздуха – до 3 бар; частота вращения – до 8000 об/мин.; температура – от 40 до 600°C, на разных каналах измерения, угол положения (заслонки клапана ЕГР, дросселя, педали акселератора) 0-360°. Проведен анализ программ для работы с данным адаптером. На

основании тестов и практик были выбраны программы FORScan, OpenDiag, Car Scanner ELM OBD2. Результаты проведенных эксплуатационных исследований бензинового и дизельного двигателя грузового автомобиля, эксплуатировавшегося в условиях АПК, позволили получить достоверные параметры работы двигателя: давление во впускном трубопроводе при различных условиях, давление надвучного воздуха, температура топлива, охлаждающей жидкости и масла и иные.

Keywords: *diagnostics, electronic control unit (ECU), engine control system, fuel pump, scanner, programming, performance characteristics, sensors, adapter ELM 327.*

The research findings on the development of technological equipment for the prevention of engine failures of motor-and-tractor vehicles are discussed. During routine maintenance, it is necessary to monitor the condition of the elements of these systems and, if required, eliminate the damage that occurred. Electronic control units of a

passenger car diesel engine powered by an on-board 12V network were used to conduct research: ECU EDC16C34 and SID206. The engine control unit has a 32-bit bit rate, and there is also an "anti-tuning" algorithm. The ECU has an increased amount of internal flash memory up to 4MB. The limits of the measured values are as follows: fuel pressure - up to 1800 bar; air pressure up to 3 bar; rotation speed up to 8000 rpm; temperature from -40 to 600°C, and on different measurement channels, the angle of position (EGR valve flaps, throttle, accelerator pedal) 0-360 degrees. The analysis of the software for working with this adapter was carried out. Based on tests and practices, FORScan, OpenDiag and Car Scanner ELM OBD2 software applications were selected. The results of the conducted operational studies of the gasoline and diesel engines of a truck operated under the conditions of the agro-industrial complex made it possible to obtain reliable engine operation parameters: inlet pressure under various conditions, boost air pressure, and the temperatures of fuel, coolant, oil, and others.

Галин Дмитрий Александрович, к.т.н., доцент, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, г. Саранск, Российская Федерация, e-mail: dagalin@yandex.ru.

Круш Леонид Олегович, аналитик, аспирант, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, г. Саранск, Российская Федерация, e-mail: leonidsgrants@yandex.ru.

Раков Николай Викторович, к.т.н., доцент, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, г. Саранск, Российская Федерация, e-mail: nikolaymgu@yandex.ru.

Galin Dmitriy Aleksandrovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation, e-mail: dagalin@yandex.ru.

Krush Leonid Olegovich, analyst, post-graduate student, National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation, e-mail: leonidsgrants@yandex.ru.

Rakov Nikolay Viktorovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation, e-mail: nikolaymgu@yandex.ru.

Введение

Основой промышленного производства в современном АПК является техника, которая зачастую работает в условиях неблагоприятных факторов (низкие температуры, высокая влажность, агрессивная среда, вибрация и износ, и др.), при условиях превышения допустимых эксплуатационных параметров в 2-3 раза, при несвоевременном проведении операций ТОиР [1, 2].

Наиболее нагруженными в процессе эксплуатации техники, как известно, являются: двигатель внутреннего сгорания (ДВС); агрегаты трансмиссии; топливная аппаратура, от технического состояния которых зависят работоспособность и функционирование техники [3]. ДВС, безусловно, является здесь самым важным компонентом машины, поэтому так важно обеспечивать его постоянно исправное состояние, для чего необходимо своевременно проводить сервис, регламентное техническое обслуживание и диагностирование ДВС [4, 7].

На практике текущие значения параметров технического состояния ДВС определяют как субъективными, так и объективными методами. При субъективных методах достоверность результатов диагностирования зависит от квалификации специалистов и от применяемого оборудования. Объективные же методы более точны и надежны, но обладают, как правило, высокой трудоемкостью и требуют наличия специального, диагностического оборудования (стенды, мотор-тестеры, диагностические стойки). Трудоемкость диагностики ДВС может быть существенно уменьшена при использовании современных, эффективных методов безразборного диагностирования [5, 6].

В настоящее время большинство ДВС техники АПК, произведенной еще в конце XX – начале XXI вв., не имеет электронного блока управления (ЭБУ), поэтому проведение диагностических работ на них затруднено. Кроме того, у этих агрегатов отсутствуют и большинство из используемых на современных машинах штатных дат-

чиков и измерительных устройств (датчик расхода воздуха, датчик оборотов коленвала (распредвала), датчик давления топлива, датчик положения дроссельной заслонки и др.), поэтому дополнение двигателя современным многофункциональным диагностическим комплексом (МДК), позволяющим проводить мониторинг рабочих процессов в режиме реального времени, будет актуальным [8].

Цель работы – разработка многофункционального диагностического комплекса для оценки технического состояния ДВС автомобилей и тракторов, не оснащенных ЭБУ и штатным комплектом типовых датчиков его параметров, с возможностью расширения его применимости для других агрегатов и систем.

Экспериментальная часть

При разработке МДК использовали коммерческие ЭБУ для дизельных ДВС легковых автомобилей 1-го и 2-го поколения (Евро 4-5), работающие от бортовой сети 12 В: EDC16C34;

SID206, которые устанавливаются на дизельные легковые автомобили Ford, Peugeot, Citroen, имеют невысокую цену и приемлемый диапазон технических характеристик (рис. 1, 2).

Использованные блоки управления двигателем имеют разрядность 32 бит, присутствует алгоритм «антитюннинга», объемом внутренней flash-памяти 4 МБ. ЭБУ, при подключении штатных датчиков, позволяют измерять следующие параметры ДВС: давление топлива (до 1800 бар); давление воздуха (до 3 бар); частоту вращения вала (до 8000 об/мин.); температуру (от -40 до +600°C); угол положения заслонок (от 0 до 360°), а также активировать различные низковольтные исполнительные устройства (вентилятор охлаждения, контрольную лампу, электромагнитный клапан). ЭБУ устанавливали на ДВС автотракторной техники, и/или в состав разрабатываемого МДК, и использовали в пассивном режиме (только съем показаний с датчиков).

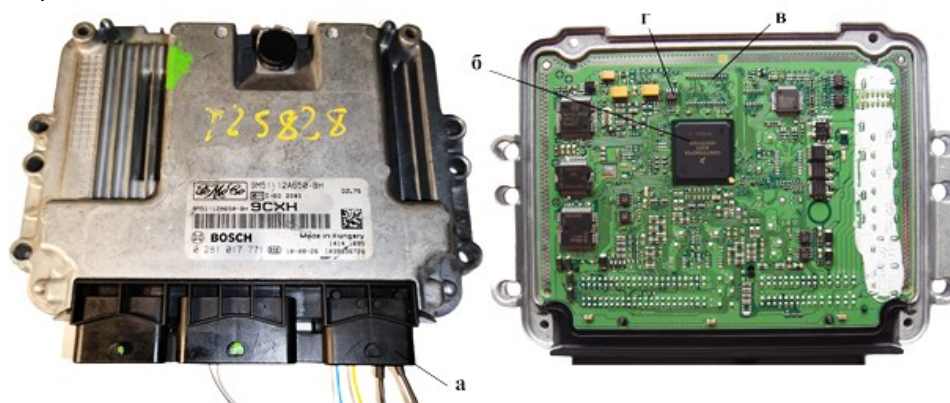


Рис. 1. Общий вид и фото платы ЭБУ EDC16C34:
 а – разъемы для подключения датчиков, сканера и бортового питания к ЭБУ;
 б – центральный процессор (MPC562MZP56); в – микросхема flash-памяти 25F00015;
 г – микросхема памяти (еером 25640)

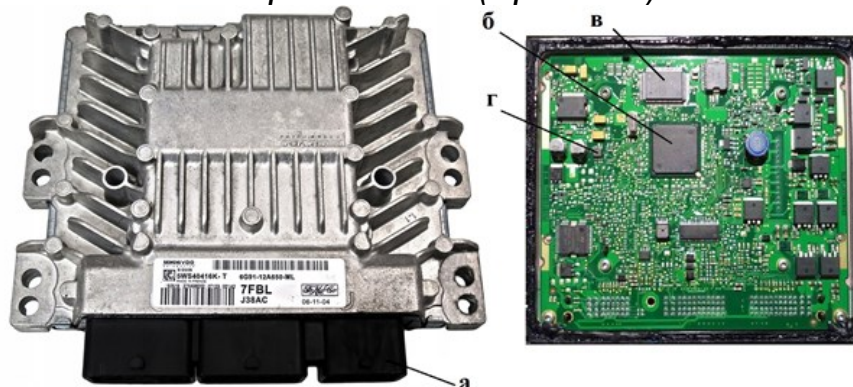


Рис. 2. Общий вид и фото платы ЭБУ SID206:
 а – разъемы для подключения датчиков, сканера и питания к ЭБУ;
 б – центральный процессор (MPC561MZP56); в – микросхема flash-памяти (S29CD016J);
 г – микросхема памяти (еером 95320)

Для работы с ЭБУ (чтение/запись, программирование) использовали специализированное free-ware ПО (загрузчик) CombiLoader (v. 2.16.8924), доступен по ссылке: <https://almisoft.ru/combiloader.htm>. Для ЭБУ EDC16C34 догружали модуль BSM, а для SID206 – модуль SAEJ2534. Модули позволяют читать/записывать полный образ прошивки и/или записывать в область flash-памяти или область калибровок ЭБУ. Запись калибровок проводили без снятия ЭБУ с автомобиля, по линии K-Line, для обоих типов ЭБУ, подключение к конкретному ЭБУ производили по схеме из руководства программы.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе, для выбора датчика(ов) измерительных устройств при реализации МДК, сравнивались различные ЭБУ.

Первоначально были выбраны и сравнивались ЭБУ для бензиновых ДВС легковых автомобилей Lada Priora M73 и ГАЗель M10.3, но их использование для целей нашей работы оказалось ограничено функционалом, т.к. такие параметры как: давление топлива или воздуха; температура; частота вращения, не соответствуют указанным для дизельных ДВС автотракторных средств и не могут быть учтены только одной перекалибровкой ЭБУ, поэтому для дальнейшей работы были выбраны ЭБУ для легковых дизелей [8, 9].

Современные ЭБУ для дизелей (MEDC17, SID208, DCM3.7), применяемые в коммерческой технике, отвечают заданным требованиям аппаратно, но очень дороги, т.к. данные ЭБУ устанавливаются на технику класса Евро-6. Также в них используется сложная процедура программирования, в виду особенности применения процессоров с модульным расположением flash-памяти и EEPROM-памяти и применения технология защиты от чтения/записи TProt, компании Infineon. Для создания МДК использованы указанные выше ЭБУ предыдущего поколения.

На втором этапе, перед проведением варианта(ов) монтажа макета МДК, проводилась процедура поверки ЭБУ «на столе», считывается текущая программа управления, проверяется ток потребления в покое, в работе, в режиме программирования, проводится диагностика компонентов платы, АЦП и датчиков.

Аппаратная часть использованных ЭБУ позволяет с заданной, переменной точностью от-

слеживать основные параметры дизельного ДВС: частота вращения коленчатого вала; температура нагнетаемого воздуха, охлаждающей жидкости, масла; атмосферное давление, давление во впускном коллекторе, давление наддува турбины, а также имеются широкие аппаратные возможности плат этих ЭБУ, оснащенных АЦП на 5В.

Распиновка ЭБУ EDC16C34 и SID206 представлена в различных технических справочниках производителей автомобилей и электронных компонентов.

Каждая из использованных ЭБУ предусматривает корректировку внутреннего ПО (прошивки) для изменения и определения диапазонов ключевых измеряемых параметров и изменения описания рабочих групп. Типовую прошивку ЭБУ можно условно разделить на несколько областей (адресов): [0x30] – собственно управляющая программа; [0x50] – основная область калибровок; [0x80] – дополнительная область калибровок. Эти области не обязательно хранятся друг за другом в теле прошивки, но образуют собой логическую последовательность, в том смысле, что первая область содержит в себе ссылку на вторую область, вторая на третью и т.д. Помимо этого каждая последующая область имеет зависимости от предыдущих. Как минимум, контрольная сумма каждой последующей области зависит от контрольных сумм предыдущих областей, поэтому при изменении алгоритма работы ЭБУ нам было проще работать именно с областью калибровок (основой, дополнительной), изменяя диапазоны измеряемых величин и меняя алгоритм последовательных действий (обращений).

На третьем этапе задача состояла в изменении областей калибровок и алгоритма базовой прошивки, в которые были внесены изменения, записанные далее в ЭБУ, т.е. перепрошивка ЭБУ под наши задачи и настройки. Для этого оптимальным является мультимарочный сканер-адаптер на базе микроконтроллера ELM327 [10] (рис. 3), который оптимально подходит как для работы с ЭБУ EDC16C34, так и SID206.

Адаптер ELM327 поддерживает все основные протоколы обмена данными между ЭБУ, бортовым компьютером и диагностическими программами: SAE J1850 ШИМ (41,6 Кбит/с); SAE J1850 VPW (10,4 Кбит/с); ISO 9141-2 (ввод данных в 5 бод, 10,4 Кбит/с); ISO 14230-4 KWP (ввод данных в 5 Бод, 10,4 Кбит/с);

ISO 14230-4 KWP (быстрая инициализация, 10,4 Кбит/с); ISO 15765-4 CAN (11-разрядный идентификатор, 500 Кбит/с); ISO 15765-4 CAN (29-битный идентификатор, 500 Кбит/с); ISO 15765-4 CAN (11-разрядный идентификатор,

250 Кбит/с); ISO 15765-4 CAN (29-битный идентификатор, 250 Кбит/с); а также современные скоростные протоколы: SAE J1939 (250 Кбит/с) и SAE J1939 (500 Кбит/с), через адаптер Bluetooth 5.1 [11, 12].

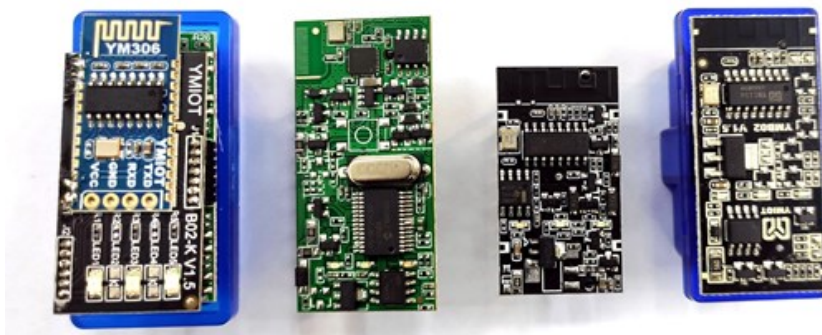


Рис. 3. Адаптер ELM 327 в разобранном виде, с изображением монтажных плат и компонентов

На основании предварительных тестов для работы с ELM327 были выбраны программы: FORScan, OpenDiag и Car Scanner ELM OBD2. Программы имеют расширенный функционал, постоянно обновляются, имеют возможность установки приложения на любое устройство с операционной системой Windows и/или Android (может использоваться смартфон или планшет с Bluetooth), что значительно упрощает мониторинг агрегатов в реальных условиях и возможность создания МДК компактных размеров [8, 9]. В дальнейшем нами планируется работа по модернизации имеющегося или по созданию собственного ELM-адаптера с необходимым набором параметров, необходимых для мониторинга той или иной системы.

На рисунке 4а представлен интерфейс рабочего стола смартфона с приложением FORScan Lite, с изображением наиболее актуальных измеряемых параметров, системы управления двигателем (вкладок): атмосферное давление $P_{атм}$, бар; давление во впускном коллекторе $P_{над}$, бар; давление топлива $P_{топл}$, бар; давление масла $P_{масла}$, бар; температура (охлаждающей жидкости, воздуха, топлива, масла) t , °C; частота вращения, об/мин.; углы положения заслонок (регулятора или дросселя), град. и др.

Предлагаемый вариант разработанного нами макета МДК «Контакт-001 ИМЭ» (рис. 4б) в настоящее время находится на стадии демон-

страции принципиальной возможности описанного выше подхода, а в качестве внешнего датчика, содержит пока только стандартный, резистивный датчик температуры.

Разработанный прототип МДК имеет компактные размеры, упакован в ударопрочный кейс с набором необходимых датчиков (температуры, давления, угла поворота и пр.) и проводки, необходимых для компактного подключения к двигателю или другому промышленному оборудованию, также в комплект комплекса возможно поставить смартфон с предустановленными приложениями.

Результаты проведенных эксплуатационных исследований бензинового ДВС легкового автомобиля Skoda [7] с помощью МДК «Контакт-001 ИМЭ» и их сопоставление с данными аттестованных приборов, установленных на стационарном посту ТО, позволили получить следующие достоверные параметры работы двигателя: давление во впускном трубопроводе при различных условиях; давление надувочного воздуха; температуру топлива, охлаждающей жидкости и масла. Проводили исследования по диагностике искусственных нарушений работоспособности ДВС, которые были успешно обнаружены предлагаемым МДК (по совокупности их измеренных параметров), что позволило подтвердить эффективность устройства.



а



б

Рис. 4. Рабочий стол приложения FORScan Lite (а) и общий вид разработанного МДК «Контакт-001 ИМЭ»:
а – ударопрочный корпус; б – смартфон с предустановленным приложением;
в – датчик температуры с подключенным датчиком температуры и смартфоном

Выводы

1. Для установки на дизельные ДВС рекомендуется использовать коммерческие ЭБУ от дизельных ДВС легковых автомобилей 1-го и 2-го поколения (Евро 4-5): EDC16C34; SID206.
2. Для работы с ЭБУ (чтение/запись, программирование, перепрошивка) использовали специализированное free-ware ПО (загрузчик) CombiLoader (v.2.16.8924) и мультимарочный сканер-адаптер на базе микроконтроллера ELM327.
3. Разработанный ДМК «Контакт-001 ИМЭ» представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из: ЭБУ; диагностического ПО FORScan Lite; набора необходимых датчиков (температуры, давления, угла поворота и пр.) и проводки, размещенных в ударопрочном кейсе.

Библиографический список

1. Маслов, Г. Г. Техническая эксплуатация средств механизации АПК: учебное пособие / Г. Г. Маслов, А. П. Карабаницкий. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 192 с. – Текст: непосредственный.
2. Шиловский, В. Н. Сервисное обслуживание и ремонт машин и оборудования: учебное пособие / В. Н. Шиловский, А. В. Питухин, В. М. Костюкевич. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 240 с. – Текст: непосредственный.
3. Ершов, И. В. Совершенствование ремонта сельскохозяйственной техники / И. В. Ершов, В. А. Галанцев, В. Г. Игнатенков. – Текст: непо-

средственный // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 3. – С. 32-35.

4. Соломкин, А. П. Целесообразность и эффективность технического обслуживания сельскохозяйственной техники / А. П. Соломкин, О. В. Мяло, Е. Е. Белая. – Текст: непосредственный // Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2016. – № 5. – С. 58-63.

5. Хабардин, В. Н. Современные стратегии технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве / В. Н. Хабардин, М. В. Чубарева. – Текст: непосредственный // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 60. – С. 124-132.

6. Шистеев, А. В. Резервы системы обслуживания импортной сельскохозяйственной техники / А. В. Шистеев, М. К. Бураев. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6. – С. 120-123.

7. Галин, Д. А. Применение диагностики для исследования эксплуатационной надежности электронных систем управления двигателем автомобиля Skoda / Д. А. Галин, П. В. Сенин, Л. О. Круш. – Текст: непосредственный // Инженерные технологии и системы. – 2022. – Т. 32, № 2. – С. 235-248.

8. Галин, Д. А. Изменение программного обеспечения электронного блока управления бензинового двигателя автомобиля для опти-

мальной работы на сжиженном нефтяном газе / Д. А. Галин, П. А. Ионов, А. С. Назаркин. – Текст: непосредственный // Вестник Мордовского университета. – 2016. – № 3. – С. 24-29.

9. Галин, Д. А. Влияние некорректного функционирования программного обеспечения ЭБУ на эксплуатационные характеристики автомобилей / Д. А. Галин, Л. О. Круш. – Текст: непосредственный // Транспорт. Экономика. Социальная сфера. Актуальные проблемы и их решения: сборник статей VII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Изд-во Пензенский ГАУ, 2020. – С. 94-97.

10. Komorska, I., Wołczyński, Z., Borczuch, A. (2019). Diagnosis of sensor faults in a combustion engine control system with the artificial neural network. *Diagnostyka*. 20. DOI: 10.29354/diag/110440.

11. Kannadhasan, A. (2021). Self Diagnostic Cars: Using Infotainment Electronic Control Unit. *SAE Technical Papers (17th Symposium on International Automotive Technology)*. DOI 10.4271/2021-26-0027.

12. Krivoschapov S. (2021). Development of a Piston Fuel Flow Meter Based on a Microcontroller and Its Use for Vehicle Diagnostics. *SAE Technical Papers. (SAE-2021. Powertrains, Fuels and Lubricants Digital Summit)*. DOI 10.4271/2021-01-1150.

References

1. Maslov, G.G. Tekhnicheskaja ekspluatatsiia sredstv mekhanizatsii APK: uchebnoe posobie / G.G. Maslov, A.P. Karabanitskii. – Sankt-Peterburg: Lan, 2018.

2. Shilovskii, V.N. Servisnoe obsluzhivanie i remont mashin i oborudovaniia: uchebnoe posobie / V.N. Shilovskii, A.V. Pitukhin, V.M. Kostiukevich. – Sankt-Peterburg: Lan, 2019.

3. Ershov, I.V. Sovershenstvovanie remonta selskokhoziaistvennoi tekhniki / I.V. Ershov, V.A. Galantsev, V.G. Ignatenkov // Izvestiia Velikolukskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii. - 2014. – No. 3. – S. 32-35.

4. Solomkin, A.P. Tselesoobraznost i effektivnost tekhnicheskogo obsluzhivaniia selskokhoziaistvennoi tekhniki / A.P. Solomkin, O.V. Mialo, E.E. Belaia. // Vestnik VSGUTU. – 2016. – No. 5. – S. 58-63.

5. Khabardin, V.N. Sovremennye strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniia i remonta mashin v selskom khoziaistve / V.N. Khabardin, M.V. Chubareva // Vestnik Irkutskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii. – 2014. – No. 60. – S. 124-132.

6. Shisteev, A.V. Rezervy sistemy obsluzhivaniia importnoi selskokhoziaistvennoi tekhniki / A.V. Shisteev, M.K. Buraev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – No. 6. – S. 120-123.

7. Galin D.A., Senin P.V. Krush L.O. Primenenie diagnostiki dlia issledovaniia ekspluatatsionnoi nadezhnosti elektronnykh sistem upravleniia dvigatelem avtomobilia Skoda // Inzhenernye tekhnologii i sistemy. – 2022. – T. 32. – No. 2. – S. 235-248.

8. Galin D.A., Ionov P.A. Nazarkin A.S. Izmenenie programmno obespecheniia elektronno go bloka upravleniia benzinovogo dvigatelia avtomobilia dlia optimalnoi raboty na szhizhenom neftianom gaze // Vestnik Mordovskogo universiteta. – 2016. – No. 3. – S. 24-29.

9. Galin D.A., Krush L.O. Vliianie nekorrektnogo funktsionirovaniia programmno obespecheniia EBU na ekspluatatsionnye kharakteristiki avtomobiley // Transport. Ekonomika. Sotsialnaia sfera. Aktualnye problemy i ikh resheniia / Sbornik statei VII-oj Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – Penza: Izd-vo Penzenskii GAU, 2020. – S 94-97.

10. Komorska, I., Wołczyński, Z., Borczuch, A. (2019). Diagnosis of sensor faults in a combustion engine control system with the artificial neural network. *Diagnostyka*. 20. DOI: 10.29354/diag/110440.

11. Kannadhasan, A. (2021). Self Diagnostic Cars: Using Infotainment Electronic Control Unit. *SAE Technical Papers (17th Symposium on International Automotive Technology)*. DOI 10.4271/2021-26-0027.

12. Krivoschapov S. (2021). Development of a Piston Fuel Flow Meter Based on a Microcontroller and Its Use for Vehicle Diagnostics. *SAE Technical Papers. (SAE-2021. Powertrains, Fuels and Lubricants Digital Summit)*. DOI 10.4271/2021-01-1150.

