



ИЗМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЙ РАБОТЫ НА СЖИЖЕННОМ НЕФТЯНОМ ГАЗЕ

Д. А. Галин, П. А. Ионов, А. С. Назаркин
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

Введение. Статья посвящена анализу метода изменения программного обеспечения электронных блоков управления двигателя автомобиля, оснащенного газобаллонной установкой, работающей на сжиженном газе. Все компоненты данного устройства устанавливаются в сертифицированных мастерских на автомобили, штатно оснащенные бензиновыми двигателями. Сжиженный газ используется в автомобильных двигателях в течение многих десятилетий и является в настоящее время наиболее распространенным видом альтернативного топлива.

Материалы и методы. В Институте механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» на кафедре технического сервиса машин были проведены работы по программированию электронного блока управления двигателем штатно установленного на автомобиль ГАЗ-33027 (ГАЗель) для перевода работы данного автомобиля на газомоторное топливо. Для редактирования программного обеспечения блока управления с целью оптимальной работы двигателя на сжиженном нефтяном газе в программе ЭБУ необходимо произвести изменение части данных калибровочных таблиц. Для этого был применен ряд специальных программ: «WinOLS» от компании «EVC electronic» (Германия) и «ChipTuningPRO» от компании «SMS-Soft» (Россия).

Результаты исследования. Было произведено изменение заводской программы версии M124_AEC_03.41.152_10-2013-R15 автомобиля ГАЗ-33027 (ГАЗель) после установки на нее газобаллонной установки 4-го поколения. В статье приводятся результаты изменения характеристик впрыскивания топлива, а именно угла опережения зажигания при пуске и оптимального угла опережения зажигания штатной и модифицированной программы.

Обсуждение и заключения. К основным преимуществам автомобиля, оснащенного газобаллонной установкой, относятся экономия на топливе (стоимость сжиженного газа на 40–55 % меньше стоимости бензина), компактность установки газового оборудования, невысокая стоимость установки, отсутствие потери мощности двигателя и ресурса.

Ключевые слова: моторное топливо, пропан-бутан, газобаллонное оборудование, программирование, электронный блок управления, калибровочные таблицы, угол опережения зажигания, детонационная стойкость, октановое число, токсичность

Для цитирования: Галин Д. А., Ионов П. А., Назаркин А. С. Изменение программного обеспечения электронного блока управления бензинового двигателя автомобиля для оптимальной работы на сжиженном нефтяном газе. Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 325–335. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.325-335

CHANGING THE SOFTWARE OF THE ELECTRONIC GASOLINE CAR ENGINE CONTROL UNIT FOR OPTIMUM PERFORMANCE ON LPG

D. A. Galin, P. A. Ionov, A. S. Nazarkin

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

Introduction. The article analyzes the method of changing software electronic engine control units of a vehicle equipped with an LPG installation running on LPG. All LPG components are installed in certified workshops for cars, regular gasoline engines. Liquefied gas is used in automotive engines for many decades and is currently the most common type of alternative fuel.

Materials and Methods. At the Institute of mechanics and Energy of the National Research Mordovia State University Department of technical service of cars was carried out on the programming of the electronic engine control unit staff installed on the car GAS-33027 for transfer of the vehicle engine to natural gas. It is necessary to make the change part of the data calibration tables for editing the software of the engine control unit, for optimum performance of the engine on LPG in the program of the ECU. WinOLS of EVC Electronic (Germany) and ChipTuningPRO of the SMS-Soft (Russia) were used in the research.

Results. We have changed the factory software version M124_AEC 03.41.152 10-2013-R15 car GAS-33027 (GAZelle) after installing it on gas setting 4-th generation. Presents the results of changes in characteristics of fuel injection, namely the ignition timing at start-up and the optimal ignition timing of the regular and modified programs.

Discussion and Conclusions. The main advantages of the car equipped with LPG installation are fuel savings (cost of liquefied gas at 40–55 % cheaper than gasoline), the compactness of the installation of gas equipment, low equipment cost, no loss of engine power and resource.

Keywords: motor fuels, propane-butane, gas equipment, programming, electronic control unit, calibration table, ignition timing, knock resistance, octane number, toxicity

For citation: Galin DA, Ionov PA, Nazarkin AS. Changing the software of the electronic gasoline car engine control unit for optimum performance on LPG. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 3(26):325-335. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.325-335

Введение

В 2013 г. Правительство РФ приняло Постановление о переводе на газовое топливо не менее половины общественного транспорта в стране. Информация об этом стала известна в ходе совещания о перспективах использования в России газомоторного топлива под председательством В. В. Путина, состоявшегося 14 мая 2013 г.

Все больше транспортных компаний при обновлении своего подвижного состава отдают предпочтение технике, работающей на газовом топливе. Такой выбор позволяет сократить расходы на моторное топливо и существенно снизить уровень негативного влияния на окружающую сре-

ду. Газовые автомобили практически не выделяют в атмосферу угарный газ (CO) и характеризуются низким уровнем выбросов несгоревших углеводородов (CH) [1].

Под сжиженным газом понимается сжиженный попутный нефтяной газ, называемый также пропан-бутан, или LPG (Liquified Petroleum Gas). Сжиженный газ используется в автомобильных двигателях уже в течение многих десятилетий и является в настоящее время наиболее распространенным видом альтернативного топлива. Он представляет собой смесь пропана, бутана и различных добавок, характеризуется очень чистым сгоранием и благодаря этому является од-



ним из самых перспективных энергоносителей. Во многих крупных городах вследствие роста стоимости бензина и экологического сознания количество автомобилей, работающих на сжиженном газе, постоянно увеличивается.

Сжиженный газ, используемый в качестве моторного топлива, по сравнению с бензином имеет октановое число в диапазоне от 105 до 115 в зависимости от соотношения в смеси пропана и бутана, повышенную детонационную стойкость и, соответственно, большее время горения, что приводит к возрастанию давления и температуры газов в камере сгорания. Это, в свою очередь, негативно сказывается на работе выпускной системы. Особенностью газа также является отсутствие смазывающих свойств бензина. Все это вызывает повышенные нагрузки на двигатель и требует внесения изменений в его механическую и электронную часть. Требования к качеству сжиженного газа единообразно устанавливаются на всей территории Европы нормой DIN EN 589, что обеспечивает применение автомобилей, работающих на сжиженном газе, в самых разных странах.

В настоящее время в России существует > 3 000 заправочных станций, продающих пропан-бутан. Количество автомобилей, работающих на газомоторном топливе, составляет ~ 1,1 млн ед. (около 2 % от общего автомобильного парка РФ). Из отечественных автомобилей, использующих в качестве топлива сжиженный нефтяной газ, можно выделить ПАЗ, ГАЗ, УАЗ, ВАЗ [1–3].

На некоторых предприятиях на конвейер начало поступать оборудование для установки ГБО в штатном исполнении. Например, на заводе ГАЗ (Россия) совместно с фирмой OMVL (Канада) адаптировали конструкцию автомобиля ГАЗель под штатное размещение ГБО. В связи с этим российской фирмой «ИТЭЛМА» был разработан единый электронный блок управления

двигателем (ЭБУ) для бензина и газа. Ранее на автомобили устанавливались 2 блока, что вызывало трудности как в алгоритме работы мотора, так и в диагностике. Доработка затронула также конструкцию автомобиля: переключатель топлива был перенесен в штатное место; датчики уровня газа и бензина – объединены в один штатный указатель в щитке приборов.

Для оптимизации работы бензинового двигателя, оборудованного установкой со сжиженным нефтяным газом, нами предлагаются варианты перевода автомобилей, штатно оснащенных бензиновыми двигателями, на данный вид топлива благодаря специальной настройке программного обеспечения (ПО) штатного бензинового ЭБУ, а именно изменению параметров и характеристик работы исполнительных механизмов двигателя, топливной системы, системы зажигания, лямбда регулирования.

Современные ЭБУ можно условно разделить на системы с замкнутым контуром лямбда-управления и с незамкнутым (безлямбдовое управление), с нормами токсичности Евро-0. ЭБУ «Bosch M7.9.7» (Германия) одним из первых начал выпускаться под нормы токсичности Евро-2 и Евро-3. В России данный ЭБУ устанавливается на автомобили с сентября 2003 г.

ПО ЭБУ построено на основе разработанной «Bosch» «моментной» модели двигателя («Torque-Based») и содержит > 1 000 калибровочных таблиц. В нем реализован алгоритм «anti-jerk» (дословно – «противотолчковая» функция), призванный обеспечить плавность при начале движения и переключении передач на топливе с различным октановым числом. В августе 2007 г. на новых легковых и коммерческих автомобилях и автобусах появились новые блоки управления «M73» (Россия) для норм Евро-3. В 2010 г. на автомобили начали серийно устанавливать электронную дроссельную заслонку,

электронную педаль и поддерживающие данные устройства контроллеры «Bosch M17.9.7» с нормами токсичности Евро-3 и Евро-4 [4–7].

Для редактирования ПО вышеперечисленных ЭБУ для оптимальной работы двигателя на сжиженном нефтяном газе необходимо произвести изменение части данных калибровочных таблиц. Для этой цели применяется ряд специальных программ: «WinOLS» производства «EVC electronic» (Германия) и «ChipTuningPRO» («SMS-Soft», Россия).

Данные программы имеют графический редактор параметров, который, в сочетании с системой автоматического подсчета контрольных сумм и цифровых подписей, позволяет быстро и качественно создавать ПО под любые типы впрыскивания топлива и нестандартные режимы работы двигателя при форсировании. Программы работают с оригинальными файлами прошивок и позволяют вносить изменения в работу системы управления впрыскиванием. Также они дают возможность изменять до сотни таблиц и калибровочных констант, параметров (таких как состав топливовоздушной смеси на разных режимах, фаза впрыскивания, угол опережения зажигания, топливоподача при пуске, зоны режимов работы двигателя, различные коэффициенты коррекции, комплектация лямбда-зондами, маска ошибок двигателя); варьировать алгоритм работы системы в режиме кондиционирования, исправлять просчеты в математической модели, снижать расход топлива и многое другое [7–9].

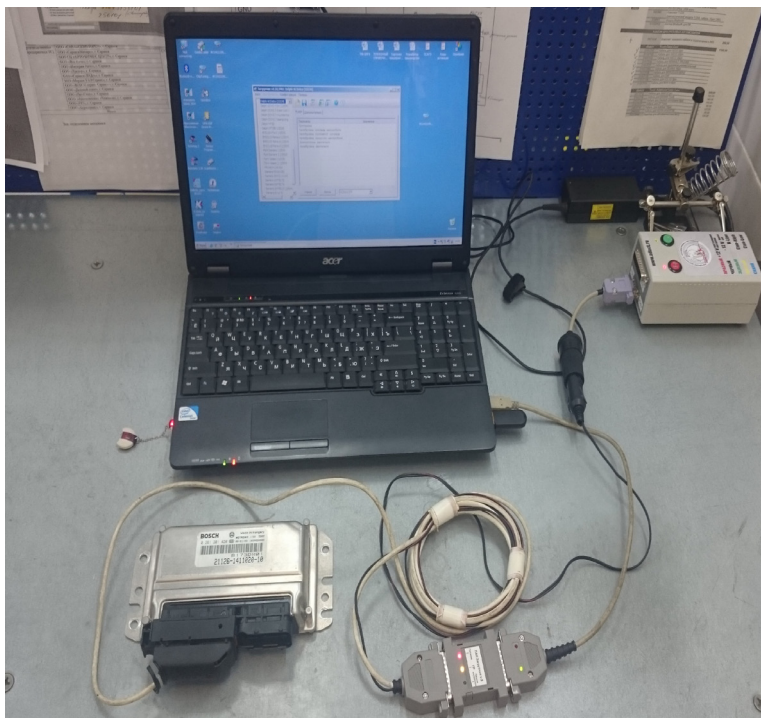
Материалы и методы

В Институте механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва»

на кафедре технического сервиса машин используются приборы и оборудование, позволяющие эффективно проводить работы по диагностике двигателя и изменению ПО ЭБУ автомобиля для работы в том числе на сжиженном нефтяном газе. При программировании ЭБУ автомобилей также необходимо использовать диагностические сканеры ЭБУ для последующей настройки системы управления двигателем.

В данном случае проводилось перепрограммирование ЭБУ, штатно установленного на автомобиль ГАЗ-33027 (ГАЗель). Программирование было произведено со снятием ЭБУ. Также возможно произвести запись ПО на автомобиле, при подключении загрузчика непосредственно к диагностической колодке [10]. На рис. 1 представлен процесс перепрограммирования ЭБУ, снятого с автомобиля, в режиме «BootstrapLoader» (BSL). На рис. 2 представлен процесс программирования ЭБУ через разъем диагностики «EOBD II».

Для чтения и записи базовой программы ЭБУ автомобиля был использован загрузчик «CombiLoader» («SMS-Soft», Россия). Последняя версия ПО данного загрузчика позволяет производить чтение–запись как полной области микропрограммы ЭБУ, так и калибровочных данных. Структуру памяти ЭБУ можно разделить на 4 части: 1 – загрузочная область; 2 – область EEPROM; 3 – микропрограмма ЭБУ; 4 – калибровочные таблицы. В диагностическом режиме загрузчик позволяет работать или с областями (3–4), или с областью (4) (если выбрана работа только с калибровками).



Р и с. 1. Программирование ЭБУ в режиме «BootstrapLoader» (BSL)
F i g. 1. ECU Programming mode BootstrapLoader (BSL)



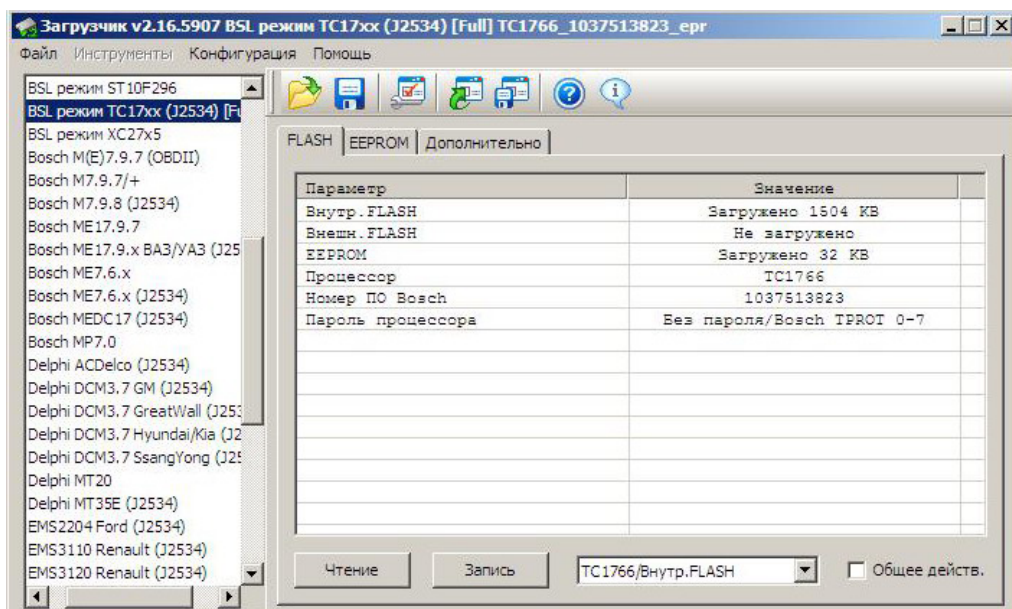
Р и с. 2. Программирование ЭБУ через разъем диагностики «EOBD II»
F i g. 2. Programming the ECU via diagnostic connector EOBD II

В окне программы имеются вкладки «Flash» и «Калибровки», которые содержат окно просмотра буфера программы контроллера и кнопки управления: чтение или запись прошивки из внутреннего буфера программы в контроллер (рис. 3). Как правило, для изменения алгоритма работы двигателя достаточно изменить только калибровочные таблицы, не затрагивая при этом основной софт («Flash»).

Прежде чем редактировать базовое ПО ЭБУ, необходимо считать его из ЭБУ и перенести в буфер программы редактора. Для редактирования модифици-

рованного ПО использовался редактор «ChipTuningPRO 7» версии 7.2016.3.1896 от 25.04.2016 г. Программа содержит следующие вкладки: «маска DTC (маска ошибок)»; «E-GAS (torque model)»; «пусковые режимы»; «режим холостого хода»; «рабочие режимы»; «лямбда регулирование»; «управление охлаждением двигателя»; «диагностика».

Редактирование проводили по заранее подготовленным методикам. После этого производился анализ ПО, сравнение отредактированного файла с базовым, подсчет контрольных сумм и цифровых подписей программ.



Р и с. 3. Окно программы загрузчика «CombiLoader» («SMS-Soft»)

F i g. 3. Program window loader CombiLoader (SMS-Soft)

Результаты исследования

Нами было произведено изменение заводской версии программы M124_AEC_03.41.152_10-2013-R15 автомобиля ГАЗ-33027 (ГАЗель) после установки на нее газобаллонной установки 4-го поколения. На рис. 4–5 показаны результаты изменения характеристик впрыскивания топлива, а именно угла опережения зажигания при пуске

и оптимального угла опережения зажигания штатной и модифицированной программы.

Например, известно, что максимального угла опережения зажигания бензина недостаточно для сгорания пропанобутановой смеси, вследствие чего смесь продолжает догорать на такте выпуска, а это, в свою очередь, приводит к прогаранию выпускных

клапанов двигателя. Высокооктановое топливо горит медленнее низкооктанового и для компенсации повышенного

времени его горения рекомендуется увеличивать угол опережения зажигания [8–9].



Р и с. 4. Угол опережения зажигания при пуске (а – УОЗ для базового ПО; б – УОЗ для модифицированного ПО)

Fig. 4. Ignition timing at start-up (a – ignition timing angle for the base; b – ignition timing advance for the modified Software)



Р и с. 5. Оптимальный угол опережения зажигания (а – УОЗ для базового ПО; б – УОЗ для модифицированного ПО)

Fig. 5. Optimal ignition timing (a – ignition timing angle for the base; b – ignition timing advance for the modified Software)

Угол опережения зажигания для различных частот вращения коленчатого вала двигателя ДВС определяется по формуле:

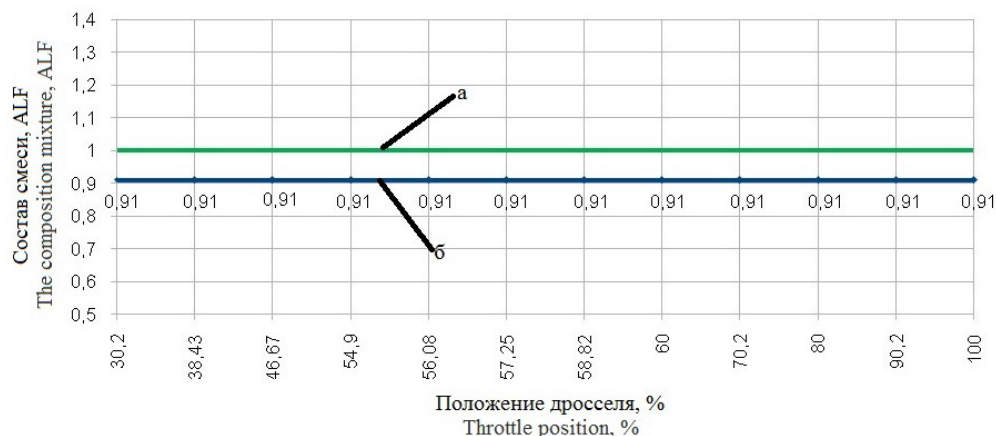
$$\text{УОЗ}_{\text{газ}} = \text{УОЗ}_{\text{бензин}} \cdot K_w$$

где K_w – коэффициент, учитывающий разницу скоростей горения газа и бензина.

Для сжиженного нефтяного газа $K_w = 0,996-1,068$, с учетом температуры, скорости горения и давления [10]. Оптимальный УОЗ с ростом частоты вращения коленчатого вала перестает увеличиваться и в конце концов становится равным константе. Такой эффект

объясняется зависимостью скорости горения топлива от скорости вращения коленвала. Если повысить УОЗ на высоких оборотах выше оптимального то кроме снижения максимальной мощности при продолжительной работе двигателя с высокой нагрузкой появляется опасность возникновения калильного зажигания, следствием которого обычно является выгорание центрального электрода свечи или даже прогарание днища поршня.

При модификации ПО был изменен также состав смеси, произведено ее переобогащение с целью снижения температурной нагрузки на клапан головки блока цилиндров (ГБЦ) (рис. 6).



Р и с. 6. Состав смеси в режимах высокой нагрузки (а – состав смеси для базового ПО; б – состав смеси для модифицированного ПО)

Fig. 6. The composition of the mixture in the high load (a – the composition of the mixture for the base; b – the composition of the mixture for the modified Software)

В изменяемом ПО, кроме варьирования углов опережения зажигания и состава смеси, было отключено лямбдорегулирование на холостом ходу (для ровной и мягкой работы двигателя). Поправка делалась с помощью опции сканера. Также были отключены датчик неровной дороги, нередко вызывающий ложные срабатывания, и функция выключения форсунок при пропусках воспламенения (при постоянных ложных срабатываниях из-за

колебаний двигателя происходит выключение форсунок, часто возникающих при исправно работающем двигателе). В маске ошибок были убраны ложные ошибки, не влияющие на поиск неисправностей.

После записи программы в ЭБУ необходимо сделать тестовые замеры параметров работы двигателя, считать коды неисправностей, провести регулировку системы с использование газоанализатора и, таким обра-



зом, довести работу двигателя с новым типом топлива до уровня работы автомобиля со штатно установленным ГБО.

После перепрограммирования ЭБУ необходимо сделать сброс настроек ЭБУ со сканера, сброс всех установок, адаптацию дросселя, установку холостого хода, произвести регулировку СО на холостом ходу и под нагрузкой, замерить расход топлива.

Обсуждение и заключения

Проведенные изменения штатного ПО бензинового ЭБУ позволили получить работоспособную программу, позволяющую вносить изменения в работу двигателя на сжиженном нефтяном газе.

Модификация ПО основного бензинового блока ЭБУ позволила изменить

ряд характеристик работы двигателя и состав смеси, произвести переобогащение смеси для снижения нагрузки на клапана, увеличить базовый угол опережения зажигания.

Дальнейшая настройка двигателя с помощью диагностического оборудования после изменения ПО позволила оптимизировать работу всех датчиков и исполнительных механизмов, произвести сброс адаптаций двигателя, калибровку дроссельной заслонки, форсунок.

В связи с основными преимуществами автомобиля, оснащенного ГБО (такими как экономия на топливе и высокая экологичность) отметим актуальность работы по переводу автомобилей на сжиженный газ совместно с изменением ПО ЭБУ бензинового двигателя для оптимальной работы на сжиженном нефтяном газе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Пашков В. И.** Автомобильная промышленность России в 2007 году. Автомобильная промышленность. 2008. № 3. С. 5–8. URL: <http://www.avtomash.ru/guravto/2002/200212.htm>.
2. Методы диагностики дизельной топливной аппаратуры / П. В. Сенин [и др.] // Сельский механизатор. 2015. № 10. С. 32–36. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24392514>.
3. **Сенин П. В., Галин Д. А.** Диагностика форсунок топливной системы Common rail. Нива Поволжья. 2016. № 2. С. 15–19. URL: <http://niva-volga.ru/index.php?id=020101>.
4. Оценка работоспособности и повышение долговечности объемного гидропривода / Ф. Х. Бурумкулов [и др.] // Труды ГОСНИТИ. 2008. Т. 102. С. 187–190. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22563196>.
5. Пути повышения долговечности объемного гидропривода ГСТ-90 / Ф. Х. Бурумкулов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 10. С. 39–42. URL: <http://www.tismash.ru/archives/8049>.
6. Исследование работоспособности и разработка технологических рекомендаций по ремонту объемного гидропривода ГСТ-90 / Д. А. Галин [и др.] // Труды ГОСНИТИ. 2011. Т. 107, № 1. С. 78–85. URL: <http://tekhnosfera.com/otsenka>.
7. **Бурумкулов Ф. Х., Лялякин В. П., Галин Д. А.** Повышение межремонтного ресурса агрегатов с использованием нанoeлектротехнологий. Техника в сельском хозяйстве. 2007. № 3. С. 8–13. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9539836>.
8. **Дмитриевский А. В.** Впускные каналы и мощностные показатели двигателей с впрыскиванием бензина. Автомобильная промышленность. 1993. № 1. С. 17–19. URL: <http://tekhnosfera.com/sposob-diagnostirovaniya-elektromagnitnyh-forsunok-dvigatelay-s-vpryskivaniem-benzina>.
9. **Вереютин А. Ю.** Способ диагностирования электромагнитных форсунок двигателей с впрыскиванием бензина. Естественные и технические науки. 2010. № 1. С. 25–28. URL: <http://www.dslib.net/teplo-dvigateli/sposob-diagnostirovaniya-elektromagnitnyh-forsunok-dvigatelay-s-vpryskivaniem.html>.
10. **Галин Д. А., Ионов П. А., Козлов А. В.** Обзор и диагностика системы управления двигателем автомобиля ВАЗ (NIVA) Bosch M(E)17.9.7. Межвуз. сб. науч. тр. «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы». Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 50–55. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22736153>.

Об авторах:

Галин Дмитрий Александрович, доцент кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), кандидат технических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2858-2685>, tehosmotr.yalga@yandex.ru

Ионов Павел Александрович, доцент кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), кандидат технических наук, tehosmotr.yalga@yandex.ru

Назаркин Алексей Сергеевич, магистрант кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), tehosmotr.yalga@yandex.ru

REFERENCES

1. Pashkov VI. *Avtomobilnaya promyshlennost Rossii v 2007 godu* [Automotive industry in Russia in 2007]. *Avtomobilnaya promyshlennost* = Automotive industry 2008; 3:5-8. Available from: <http://www.avtomash.ru/guravto/2002/200212.htm>. (In Russ.)
2. Senin PV, Ionov YeA, Nuyanin D, Galin A. *Metody diagnostiki dizelnoy toplivnoy apparatury* [Methods of diagnostics of diesel fuel injection equipment]. *Selskiy mekhanizator* = Rural mechanic. 2015; 10:32-36. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24392514>. (In Russ.)
3. Senin PV, Galin DA. Diagnostika forsunok toplivnoy sistemy Common rail [Diagnostics of injectors of the fuel system Common rail]. *Niva Povolzhya* = Volga Niva. 2016; 2:15-19. Available from: <http://niva-volga.ru/index.php?id=020101>. (In Russ.)
4. Burumkulov FH, et al. Otsenka rabotosposobnosti i povysheniye dolgovechnosti obemnogo gidroprivoda [Performance evaluation and improving the durability of volumetric hydraulic drive]. *Trudy GOSNITI* = Proceedings of GOSNITI. 2008; 1(102):187-190. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22563196>. (In Russ.)
5. Burumkulov FH, et al. Puti povysheniya dolgovechnosti obemnogo gidroprivoda GST-90 [Ways to improve the durability of volumetric hydraulic drive GST-90]. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and farm machinery. 2012; 10:39-42. Available from: <http://www.tismash.ru/archives/8049>. (In Russ.)
6. Galin DA, et al. Issledovaniye rabotosposobnosti i razrabotka tekhnologicheskikh rekomendatsiy po remontu obemnogo gidroprivoda GST-90 [Study of health and development of technological recommendations for repair of volumetric hydraulic drive GST-90]. *Trudy GOSNITI* = Proceedings of GOSNITI. 2011; 1(107):78-85. Available from: <http://tekhnosfera.com/otsenka>. (In Russ.)
7. Burumkulova FH, Lyalyakin VP, Galin DA. Povysheniye mezhremontnogo resursa agregatov s ispolzovaniyem nanoelektrotekhnologii [Increase of overhaul life of aggregates using nanoelectromechanical]. *Tekhnika v selskom khozyaystve* = Technique in agriculture. 2007; 3:8-13. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9539836>. (In Russ.)
8. Dmitriyevsky AV. Vpusknyye kanaly i moshchnostnyye pokazateli dvigateley s vpryskivaniyem benzina [Inlet channels and the power characteristics of the engine with injection of gasoline]. *Avtomobilnaya promyshlennost* = Automotive industry. 1993; 1:17-19. URL: <http://tekhnosfera.com/sposob-diagnostirovaniya-elektromagnitnyh-forsunok-dvigatelay-s-vpryskivaniem-benzina>. (In Russ.)
9. Veretin AYU. Sposob diagnostirovaniya elektromagnitnykh forsunok dvigateley s vpryskivaniyem benzina [Method of diagnosing electromagnetic injectors of engines with gasoline injection]. *Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki* = Natural and Technical Sciences. 2010; 1:25-28. Available from: <http://www.dslib.net/teplo-dvigateli/sposob-diagnostirovaniya-elektromagnitnyh-forsunok-dvigatelay-s-vpryskivaniem.html>. (In Russ.)
10. Galin DA, Ionov PA, Kozlov AV. A Review and diagnostics of the engine management system of VAZ (NIVA) Bosch M(E)17.9.7. In: *Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy* [Energy-efficient and resource-saving technologies and systems]. Saransk: Mordovia University Publ.; 2013:50-55. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22736153>. (In Russ.)

Submitted 02.05.2016; accepted 26.05.2016; published online 30.09.2016

*About the authors:*

Dmitriy A. Galin, docent of Machine Technical Service, Institute of Mechanics and Energy, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2858-2685>**, tehosmotr.yalga@yandex.ru

Pavel A. Ionov, docent of Machine Technical Service, Institute of Mechanics and Energy, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), tehosmotr.yalga@yandex.ru

Aleksey S. Nazarkin, senior student of Machine Technical Service, Institute of Mechanics and Energy, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), tehosmotr.yalga@yandex.ru