УДК 621.113.066

Баженов Ю.В.
ГОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, e-mail: bagenovyv@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ РЕГЛАМЕНТНОМ ОБСЛУЖИВАНИИ АВТОМОБИЛЕЙ

Ключевые слова: эффективность, электронная система управления двигателем, диагностирование, алгоритм, работоспособность, отказ.

Приведены результаты исследований, направленных на повышение эффективности технического обслуживания автомобилей, оснащенных электронными системами управления двигателем (ЭСУД). Рассмотрено влияние возникающих в процессе эксплуатации неисправностей ЭСУД на основные параметры работы двигателя. Для обеспечения работоспособного состояния ЭСУД предложена система диагностирования ее технического состояния с целью выявления скрытых в ней повреждений, которые приводят к нарушению работы двигателя, а при несвоевременном устранении неисправностей к полной или частичной потере им работоспособности. Диагностирование ЭСУД осуществляется в соответствии с алгоритмами, разработанными для каждой ее подсистемы (подачи воздуха; питания топливом; изменения фаз газораспределительного механизма; снижения токсичности отработавших газов), отражающей техническое состояние входящих в нее конструктивных элементов. Исследования по оценке эффективности разработанной системы диагностирования ЭСУД проводились по методике, в соответствии с которой определялось количество эксплуатационных отказов ее конструктивных элементов при разных стратегиях технического обслуживания и связанных с этим затрат на их устранение. Объем выборки исследований составил 30 автомобилей марки Peugeot моделей 408, 508, 3008 и Partner, оборудованных ЭСУД 1.6 THP Turbo Tiptronic (110 кВт), которые были разделены на две группы по 15 единиц в каждой. Первая группа автомобилей проходила техническое обслуживание по регламенту, утвержденному заводом-изготовителем, в котором операции углубленного диагностирования ЭСУД не предусмотрены. Обслуживание второй группы автомобилей осуществлялось в соответствии с разработанной системой диагностирования технического состояния ЭСУД. Экономический эффект от внедрения системы диагностирования ЭСУД получают как владельцы автомобилей (за счет уменьшения расходов на устранение эксплуатационных отказов), так и предприятия автосервиса за счет увеличения объема контрольно-диагностических операций по оценке технического состояния системы и устранения выявленных при этом неисправностей. Апробация результатов исследований с расчетом экономической эффективности их внедрения показана на примере ЭСУД 1.6 THP Turbo Tiptronic (110 кВт) в дилерском центре Peugeot (г. Владимир).

Bazhenov Y.V.
Vladimir state University named after Alexander and Nicholay Stoletovs, Vladimir, e-mail: bagenovyv@mail.ru

THE EFFECTIVENESS OF DIAGNOSIS OF ELECTRONIC ENGINE ANAGEMENT SYSTEMS IN OPERATION IN CAR MAINTENANCE

Keywords: efficiency, electronic engine management, diagnosis, algorithm, performance failure.

Results of research directed to increase in effectiveness of maintenance of vehicles, equipped with electronic engine management systems (EEMS) are given. Influence of the malfunctions of EEMS arising in use on key parameters of engine run is considered. For ensuring operating state of EEMS the system of diagnosing of its technical condition for the purpose of identification of the damages hidden in it which lead to engine run violation, and at untimely troubleshooting to the complete or partial loss of serviceability by it is offered. Diagnosing of EEMS is carried out according to the algorithms developed for each its subsystem (air deliveries; fuel deliveries; changes of phases of the gas-distributing mechanism; decrease in toxicity of the fulfilled gases), reflecting technical condition of the structural elements entering it. Researches on assessment of effectiveness of the developed system of diagnosing of EEMS were conducted by a technique according to which the number of operational refusals of its structural elements at the different strategy of maintenance and the costs of their elimination connected with it was defined. The sample size of researches amounted to 30 car of the Peugeot brand of model 408, 508, 3008 and Partner, equipped with ECM THP 1.6 Turbo Tiptronic (110 kW), which were divided into two groups of 15 units in each. The first group of cars underwent maintenance according to the regulations approved by manufacturer in which operations of profound diagnosing of EEMS aren't provided. Maintenance of the second group of cars was carried

out according to the developed system of diagnosing of technical condition of EEMS. Economic effect of introduction of a system of diagnosing of EEMS is gained by owners of cars (due to decrease of expenses on elimination of operational refusals), and by the enterprises of car service due to increase in volume of control and diagnostic operations on assessment of technical condition of a system and elimination of the malfunctions revealed at the same time. Approbation of results of researches with calculation of economic effectiveness of their introduction is shown on the example of EEMS 1.6 THP Turbo Tiptronic (110 kW) in the dealer center Peugeot in Vladimir.

К настоящему времени все производимые в мире автомобили оборудуются электронными системами управления двигателем (ЭСУД). Использование ЭСУД позволяет добиться высоких технико-экономических показателей работы двигателя при соблюдении жестких экологических требований по выбросу вредных веществ в окружающую среду.

В процессе эксплуатации в конструктивных элементах ЭСУД, как и любой другой системе автомобиля, неизбежно возникают различные неисправности (нарушение регулировок, изменение электрических характеристик, коррозионное разрушение контактов, повреждение изоляции и т.д.). Несвоевременное выявление и устранение повреждений может привести к отказу ЭСУД, нарушению работы двигателя, полной или частичной потере им работоспособности. В табл. 1 представлены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния отказов элементов ЭСУД на основные параметры работы двигателя (мощность, расход топлива, вредные выбросы в окружающую среду оксида углерода CO и углеводорода CH), выполненные в дилерском центре Peugeot (г. Владимир). Исследовались электронные системы 1.6 THP Turbo Tiptronic (110 кВт), устанавливаемые на двигатели легковых автомобилей различных марок Peugeot.

Таблица 1

Влияние отказов элементов ЭСУД на основные параметры двигателя

Отказавший элемент	Изменение параметра			
	Снижение мощности, %	Увеличение расхода топлива, %	Увеличение выбросов вредных веществ, %	
			CO	CH
1. Датчик давления топлива	30	15	10	12
2. Электромагнитный клапан аварийного сброса давления наддува	25	12	10	7
3. Электромагнитный клапан регулирования давления наддува	30	20	12	8
4. Электронная дроссельная заслонка	90	-	-	-
5. Датчик давления наддува	20	10	12	8
6. Электромагнитный клапан регулирования фаз ГРМ	10	10	4	4
7. Электродвигатель системы изменения подъема клапанов ГРМ	85	-	-	-
8. Датчик положения распределительного вала	15	5	5	5
9. Датчик положения коленчатого вала	100	-	-	-
10. Датчик кислорода	15	20	20	18
11. Каталитический нейтрализатор	15	10	25	28
12. Электронный термостат (с датчиком температуры охлаждающей жидкости)	15	13	16	17
13. Катушка зажигания	25	20	27	29
14. ЭБУД	100	-	-	-

Отказы конструктивных элементов ЭСУД обусловлены, как правило, низким качеством обслуживания и контроля их технического состояния при проведении регламентных работ ТО автомобилей. В принятых регламентах ТО автомобилей как отечественного, так и импортного производства, операции контроля технического состояния элементов ЭСУД не предусмотрены. Это приводит к выпуску в эксплуатацию после проведения ТО автотранспортных средств, ЭСУД которых имеет скрытые неисправности, что влечет за собой увеличение количества ее линейных отказов.

Для предупреждения отказов и обеспечения заданного уровня эксплуатационной надежности ЭСУД при проведении регламентных обслуживаний автомобилей на предприятиях автосервиса целесообразно выполнять диагностирование технического состояния конструктивных элементов этих систем. Контролировать состояние каждого элемента ЭСУД при проведении регламентных работ ТО автомобиля экономически нецелесообразно, так как это приведет к большим трудовым затратам. Для снижения трудоемкости этих работ рекомендуется разбить ЭСУД на подсистемы, каждая из которых оценивается одним комплексным диагностическим параметром, отражающим техническое состояние входящих в них конструктивных элементов (табл. 2).

Выполнение контрольно-диагностических работ по оценке технического состояния конструктивных элементов ЭСУД осуществляется в соответствии с алгоритмами, разработанными для каждой ее подсистемы. В качестве примера на рис. 1 приведен алгоритм поиска и устранения неисправностей подсистемы подачи топлива, на долю которой приходится наибольшее количество отказов ЭСУД. Отклонения выбранных параметров за допустимые нормативы, вызываемые возникновением неисправностей, служат основанием для принятия решения о проведении необходимых технических воздействий (операций углубленного диагностирования, регулировок, ремонта и т.д.).

Экономическая эффективность от внедрения системы диагностирования ЭСУД складывается из двух составляющих. Первая из них относится к владельцам автомобилей и позволяет им получить определенный экономический эффект за счет уменьшения расходов на устранение эксплуатационных отказов. Это связано, прежде всего с тем, что в стоимость ремонтных работ по восстановлению утраченной из-за отказа ЭСУД работоспособности следует включать и затраты на доставку автомобиля на СТОА. Как правило, неисправное автотранспортное средство (АТС) доставляется до СТОА с помощью эвакуатора, стоимость услуг которого достаточно высока. В табл. 3 приведена стоимость услуг по эвакуации автомобиля (данные прайс-листа ДЦ «Авто Тракт Пежо» г. Владимира на 1.04.2018 г.).

Таблица 2

Подсистемы ЭСУД и оценивающих их диагностические параметры

Подсистема ЭСУД	Конструктивные элементы подсистем	Диагностические параметры
1. Подачи воздуха	Турбокомпрессор; электромагнитный клапан аварийного сброса давления; вакуумный электроклапан регулирования давления наддува; воздушный теплообменник; впускной коллектор; воздушный патрубок	Отклонение давления воздуха во впускном коллекторе – $P_{дв}$
2. Питания топливом	Подкачивающий бензонасос; топливный насос высокого давления; топливные форсунки; регулятор давления топлива; топливный фильтр; датчик давления топлива	Отклонение давления топлива в рампе – $P_{дт}$
3. Изменения фаз газораспределительного механизма	Электроклапан регулирования фаз ГРМ; фазорегулятор; датчик положения распределительного вала	Отклонение положения фазорегулятора впускного распределительного вала – $\varphi_{гм}$
4. Снижения токсичности отработавших газов	Датчик содержания кислорода в отработавших газах; каталитический нейтрализатор	Коэффициент коррекции топливоподачи – $K_{кп}$

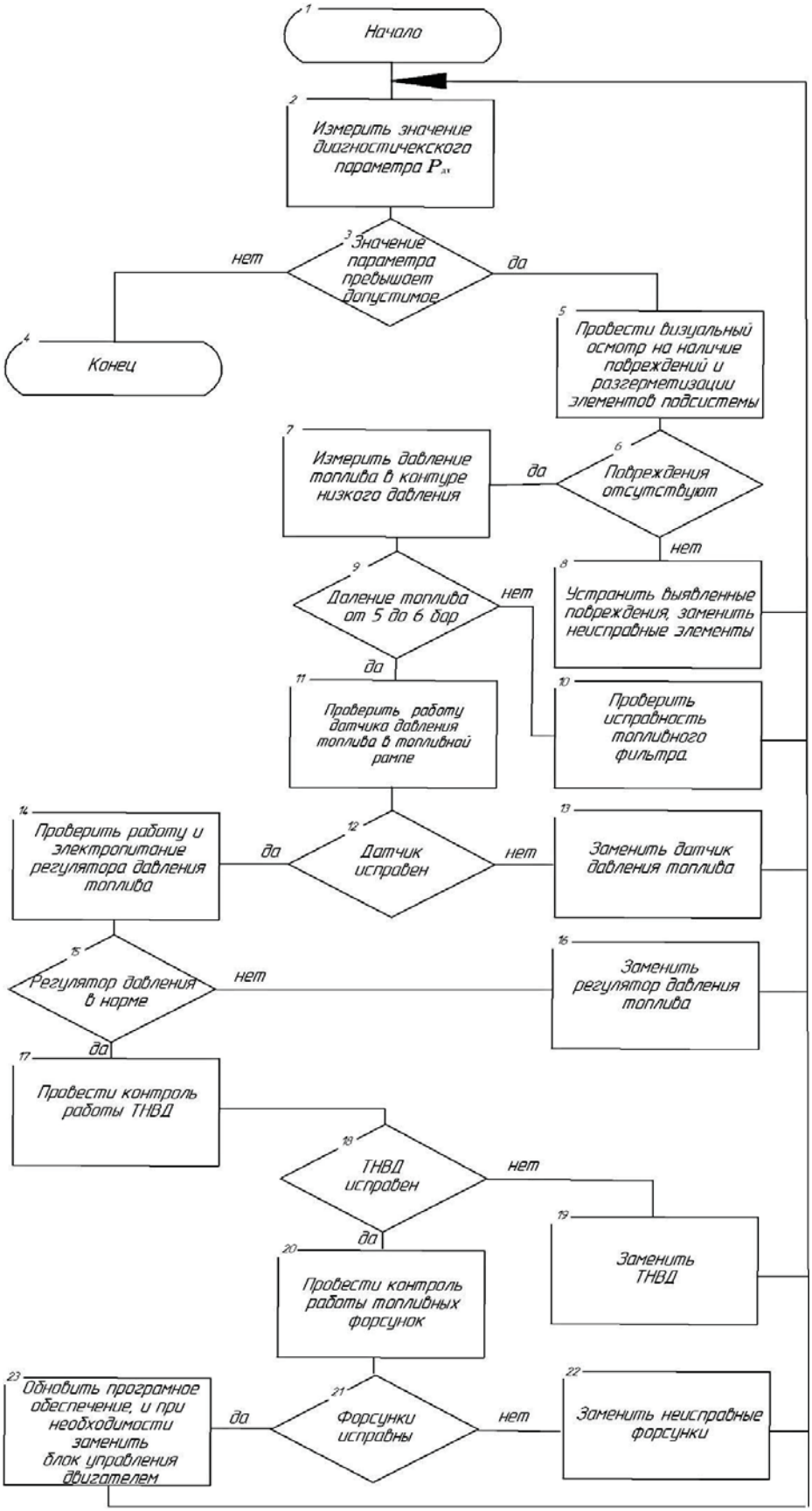

Рис. 1. Алгоритм диагностирования подсистемы питания топливом

Таблица 3

Стоимость услуг по эвакуации автомобиля

Наименование услуги	Стоимость, руб.
Эвакуация АТС в пределах административных границ г. Владимира – базовая стоимость	
• массой до 1,5 тонн	1000
• массой от 1,5 до 2 тонн	1200
• массой от 2 до 4 тонн	1400
Стоимость каждых последующих 10-и минут работы эвакуатора	150
Эвакуация АТС за пределами административных границ г. Владимира	
• массой до 1,5 тонн	30 руб. за 1 км транспортировки + базовый тариф
• массой от 1,5 до 2 тонн	35 руб. за 1 км транспортировки + базовый тариф
• массой от 2 до 4 тонн	37 руб. за 1 км транспортировки + базовый тариф

Расходы на транспортировку неисправного автомобиля до СТОА могут составлять от 10 до 80 % общих затрат на восстановления отказавшего элемента, а в некоторых случаях и вполне сопоставимы с ним. Затраты по замене неисправного датчика положения коленчатого вала автомобиля Peugeot 408, например, составляют 2000 руб., а стоимость услуг эвакуатора при среднем расстоянии доставки автомобиля до СТОА 30 км – 1900 руб.

С другой стороны внедрение диагностирования ЭСУД в производственный процесс ТО автомобилей приносит дополнительную прибыль СТОА за счет увеличения объема контрольно-диагностических операций по оценке технического состояния системы и устранения выявленных при этом неисправностей.

Для оценки эффективности разработанной системы диагностирования ЭСУД были проведены специальные экспериментальные исследования, основной целью которых является определение количества линейных отказов конструктивных элементов системы при разных стратегиях ее технического обслуживания и связанных с этим затрат на их устранение. Объем выборки исследований составил 30 автомобилей марки Peugeot моделей 408, 508, 3008 и Partner, оборудованных ЭСУД 1.6 VTi Tiptronic (88 кВт) и 1.6 THP Turbo Tiptronic (110 кВт).

Исследуемые автомобили, находящиеся в собственности коммерческих организаций г. Владимира и области и проходящие ТО на базе дилерского центра «Авто Тракт Пежо», были разделены на две группы по 15 единиц в каждой. Разброс среднегодовых пробегов исследуемых автомобилей лежал в интервале от 55 до 67 тыс.км. Наблюдения за автомобилями проводились в течение двух лет (с 2015 по 2017 г.) с момента начала эксплуатации новых автомобилей до достижения ими наработки 200 тыс.км.

Первая группа автомобилей проходила техническое обслуживание по регламенту, утвержденному заводом-изготовителем, в котором операции углубленного диагностирования ЭСУД не предусмотрены. Проверялись лишь коды возникших неисправностей, хранящихся в памяти электронного блока управления ЭСУД, и только при их наличии осуществлялись операции их поиска и устранения. При отсутствии кодов неисправностей ЭСУД признавалась технически исправной и дополнительные проверки не проводились. В результате часть автомобилей выпускалась в эксплуатацию после проведения технического обслуживания со скрытыми неисправностями ЭСУД, которые проявлялись при их дальнейшей эксплуатации.

Обслуживание второй группы автомобилей осуществлялось с обязательным диагностированием технического состояния ЭСУД. Результаты исследований эксплуатационной надежности подсистем ЭСУД автомобилей разных групп представлены в табл.4.

Таблица 4

Количество отказов подсистем ЭСУД автомобилей

Подсистема ЭСУД	Интервал наработки, тыс.км				Количество отказов по подсистемам
	0-50	50-100	100-150	150-200	
Автомобили первой группы					
Питания топливом	1	2	5	7	15
Подачи воздуха	2	2	4	6	14
Снижения токсичности ОГ	1	1	3	4	9
Изменения фаз ГРМ	1	3	4	6	14
Суммарное количество отказов ЭСУД					52
Автомобили второй группы					
Питания топливом	1	0	1	2	4
Подачи воздуха	1	2	2	3	8
Снижения токсичности ОГ	1	1	2	2	6
Изменения фаз ГРМ	2	1	1	3	7
Суммарное количество отказов ЭСУД					25

Анализ данных табл. 4 показывает, что внедрение диагностирования ЭСУД в производственный процесс технического обслуживания автомобилей значительно снижает количество эксплуатационных отказов системы за счет своевременного выявления и устранения возникших ней повреждений. При этом большая часть отказов ЭСУД приходиться на интервал наработки автомобилей от 100 до 200 тыс. км и обусловлена накоплением в них в процессе продолжительной эксплуатации различного рода повреждений. Такие повреждения выявляются, как правило, только после проведения углубленного диагностирования технического состояния ЭСУД.

Внедрение разработанной системы диагностирования ЭСУД потребовало некоторого увеличения объема работ по обеспечению ее работоспособного состояния. Среднегодовая трудоемкость контрольно-диагностических работ по проверке работоспособности ЭСУД на один обслуживаемый автомобиль по разным стратегиям их выполнения составила: для первой группы t_1 = 6,52 чел.-ч.; для второй группы с учетом работ по углубленному диагностированию системы t_2 = 8,15 чел.-ч.

Годовые объемы диагностирования ЭСУД автомобилей первой ($T_{г1}$) и второй ($T_{г2}$) группам составили:

$$T_{г1} = t_1 \cdot N_г = 6{,}52 \cdot 415 = 2705{,}8 \text{ чел.-ч};$$

$$T_{г2} = t_2 \cdot N_г = 8{,}15 \cdot 415 = 3382{,}25 \text{ чел.-ч.},$$

где $N_г$ – количество обслуживаемых за год автомобилей марки Peugeot (по данным дилерского центра «Авто Тракт Пежо» за 2017 год $N_г$ = 415 автомобилей).

Годовая стоимость выполнения этих работ $C_{дг}$:

$$C_{дг1} = T_{г1} \cdot C_{нч} = 2705{,}8 \cdot 1550 = \\ = 4193990 \text{ руб.};$$

$$C_{дг2} = T_{г2} \cdot C_{нч} = 3382{,}25 \cdot 1550 = \\ = 5242487{,}5 \text{ руб.},$$

где $C_{нч}$ – стоимость одного нормативного часа диагностических работ (из прайс-листа «Авто Тракт Пежо» на 01.05. 2017 г. $C_{нч}$ = 1550 руб.).

Затраты дилерского центра на организацию диагностирования (стоимость оборудования, приборов, инструмента, заработная плата операторов-диагностов, эксплуатационные расходы и т.д.) за 2017 г. составили:

$З_{п1}$ = 1107550 руб. до внедрения диагностирования ЭСУД автомобилей;

$З_{п2}$ = 1422810 руб. – после внедрения.

Таблица 5

Результаты расчета от внедрения системы диагностирования ЭСУД в ДЦ «Авто Тракт Пежо»

Показатель	Значение показателя	
	до внедрения диагностирования	после внедрения диагностирования
Среднегодовая трудоемкость диагностических работ по ЭСУД на один обслуживаемый автомобиль *t*, чел.- ч.	6,52	8,15
Годовое количество обслуживаемых дилерским центром автомобилей $N_г$, ед.	415	415
Годовой объем диагностических работ $T_г$, чел.- ч.	2705,8	3382,25
Стоимость одного нормативного часа диагностических работ $C_{нч}$, руб.	1550	1550
Годовая стоимость диагностических работ $C_{дг}$, руб.	4193990	5242487
Затраты, связанные с организацией диагностирования ЭСУД $З_п$, руб.	1107550	1422810
Прибыль, получаемая предприятием от работ по диагностированию ЭСУД $П_г$, руб.	3086440	3819677
Экономический эффект, получаемый предприятием от работ по диагностированию ЭСУД $Э_г$, руб.	733237	

Годовая прибыль предприятия от проведения диагностических работ до внедрения $П_{г1}$ и после внедрения $П_{г2}$ диагностирования ЭСУД автомобилей

$$П_{г1} = С_{дг1} – З_{п1} = 4193990 – 1107550 = = 3086440 \text{ руб.};$$

$$П_{г2} = С_{дг2} – З_{п2} = 5242487 – 1422810 = = 3819677 \text{ руб.}$$

Экономический эффект, получаемый предприятием от внедрения разработанной системы диагностирования ЭСУД, определяется по формуле:

$$Э_г = П_{г2} – П_{г2}.$$

Результаты расчета годового экономического эффекта от внедрения разработанной системы диагностирования ЭСУД представлены в табл. 5.

Заключение

Внедрение разработанной системы диагностирования ЭСУД в производственный процесс технического обслуживания автомобилей дилерского центра «Авто Тракт Пежо» позволило получить годовой экономический эффект 733237 тыс. руб., что подтверждает целесообразность ее использования на других предприятиях автомобильного сервиса. Кроме того, выполнение контрольно-диагностических работы по оценке технического состояния ЭСУД в сфере сервиса автомобилей существенно (по результатам настоящего исследования на 50-55%) снижает количество отказов конструктивных элементов системы в режиме ее функционирования.

Библиографический список

1. Баженов Ю.В., Каленов В.П. Диагностирование электронных систем управления двигателем // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-1. – С. 18-23.
2. Баженов Ю.В. Основы теории надежности машин: учеб. пособие. – М.: Форум, 2017. – 320 с.
3. Волгин В.В. Автосервис: маркетинг и анализ: практ. пособие. – М.: Дашков и К°, 2004. – 436 с.
4. ГОСТ 27578-87. Техническая диагностика. Диагностирование изделий. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 20 с.
5. Денисов А.С., Кулаков А.Т. Обеспечение надежности автотракторных двигателей. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2007. – 422 с.
6. Электронный портал производителя автомобилей PEUGEOT. SERVICE BOX: [Электронный ресурс]. – URL: https://servicebox.peugeot.com. дата обращения 02.03.2017.
7. Хернер А., Риль Х. Автомобильная электрика и электроника. – М.: За рулем, 2013. – 625 с.
8. Юркевич В.В.. Схиртладзе А.Г. Надежность и диагностика технологических систем: учебник. – М.: Академия, 2011.