

# ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ АВТОМОБИЛЕЙ LADA

К.Т.Н. Баженов Ю.В., Каленов В.П.

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых  
vpkaloynov@mail.ru

Статья посвящена разработке системы обеспечения работоспособности электронных систем управления двигателем (ЭСУД) за счет внедрения в технологические процессы обслуживания и ремонта автомобилей диагностирования ее технического состояния. С целью создания такой системы в работе были выполнены исследования по эксплуатационной надежности конструктивных элементов ЭСУД, влиянию их отказов на параметры работы двигателя, обоснованию диагностических параметров, оценивающих техническое состояние системы. В качестве объекта исследования принята электронная система управления M86, устанавливаемая на отечественные автомобили LADA VESTA (двигатель ВАЗ-21179). По результатам исследований были установлены средние наработки конструктивных элементов ЭСУД до отказа и причины их возникновения. На исследуемом двигателе имитировали отказ каждого из элементов ЭСУД путем его отключения и с помощью соответствующей аппаратуры измеряли выбранные для характеристики работы ДВС параметры. Наиболее значимое влияние на работу двигателя оказывают неисправности топливного насоса, электронного блока управления (ЭБУД) и датчика положения коленчатого вала, при отказе которых двигатель полностью теряет свою работоспособность, так как блокируется подача топлива в цилиндры. При отказах остальных элементов ЭСУД работоспособность двигателя сохраняется, но существенно ухудшаются его рабочие характеристики. Для обеспечения требуемого уровня надежности ЭСУД необходимо с регламентной периодичностью ТО автомобилей проводить диагностирование технического состояния ее элементов на предприятиях автосервиса. В данной работе рекомендуется разбить ЭСУД на три подсистемы, каждая из которых оценивается одним комплексным диагностическим параметром, отражающим техническое состояние входящих в них конструктивных элементов. Отклонение параметров за пределы допуска, вызываемое возникновением неисправностей, служит основой для принятия решения о проведении необходимых технических воздействий. Диагностирование подсистем ЭСУД осуществляется в соответствии с разработанными алгоритмами, устанавливающими рациональную последовательность контрольных, регулировочных и других операций по выявлению и устранению возникающих в процессе эксплуатации повреждений. В качестве примера в статье приведен алгоритм диагностирования подсистемы питания топливом и снижения токсичности отработавших газов. Предложенные в статье разработки апробированы и внедрены в технологические процессы ТО и ремонта автомобилей дилерского центра LADA в г. Владимире.

**Ключевые слова:** электронная система управления двигателем, конструктивный элемент, диагностический параметр, работоспособность, алгоритм.

## Введение

В настоящее время все выпускаемые мировыми производителями автомобили оборудуются электронной системой управления двигателем (ЭСУД). Использование ЭСУД позволяет при сравнительно небольших рабочих объемах двигателей добиться высоких технико-экономических показателей их работы с соблюдением при этом жестких экологических требований по составу вредных веществ в отработавших газах. Это достигается в результате управления процессом приготовления оптимальной по своему составу топливно-воздушной смеси на всех режимах работы двигателя, дозированной ее подачи в цилиндры и своевременного воспламенения.

В процессе эксплуатации в конструктивных элементах ЭСУД, как и в любой другой системе автомобиля, неизбежно возникают различные повреждения и неисправности (нарушение регулировок, изменение электрических характеристик, коррозионное разрушение контактов, повреждение изоляции и т.д.). Это приводит к существенному ухудшению работы двигателя и при несвоевременном устранении возникающих в ЭСУД неисправностей к частичной или полной потере им работоспособности. В связи с этим исследования, направленные на разработку системы обеспечения работоспособности ЭСУД, актуальны и имеют большую практическую значимость. Создание такой системы

предусматривает проведение исследований по эксплуатационной надежности конструктивных элементов ЭСУД, влиянию их отказов на параметры работы двигателя, обоснованию комплексных диагностических параметров, оценивающих техническое состояние системы, разработку методик и алгоритмов диагностирования ее конструктивных элементов.

### **Цель исследования**

Разработка системы обеспечения работоспособности ЭСУД за счет внедрения в технологические процессы обслуживания и ремонта автомобилей диагностирования ее технического состояния.

### **Методы и средства проведения исследований**

Экспериментальные исследования по оценке эксплуатационной надежности элементов ЭСУД М86, устанавливаемых на автомобили LADA VESTA (двигатель ВАЗ-21179), проводились на базе дилерского центра LADA в г. Владимире в процессе выполнения ТО, ремонта и диагностирования автомобилей. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Большая часть отказов электронных компонентов ЭСУД связана с обрывом проводников в обмотках (электромагнитных клапанов регулирования фаз газораспределительного механизма, катушек зажигания, электромагнитных топливных форсунок и др.) вследствие разрушения их изоляции и межвиткового короткого замыкания. Изоляция обмотки подвергается

естественному изнашиванию (старению) под действием трения витков обмотки между собой или о корпус, вибраций, влаги, загрязнения металлической пылью и т.д.

Отказы электромагнитных топливных форсунок возникают также вследствие применения некачественного топлива, содержания в нем тяжелых фракций, что приводит к появлению лаковых отложений на конусе распылителя. Работа двигателя с неисправными форсунками сопровождается затрудненным пуском, повышенным расходом топлива, снижением мощности, нестабильной работой ДВС в режиме холостого хода, провалами при разгоне. [5]

Основными причинами отказов топливных насосов являются обрыв или межвитковое замыкание обмотки электродвигателя, попадание в топливо различного рода загрязнений, которые приводят к ускоренному износу его насосной части и потере герметичности нагнетательного клапана.

Отказы электромагнитного клапана системы изменения фаз газораспределения, предназначенного для регулирования давления подаваемого на фазорегулятор распределительного вала масла, наряду с разрушением изоляции и межвитковым замыканием обмоток, происходят также из-за загрязнения его каналов металлическими частицами, содержащимися в моторном масле.

Отказы свечей зажигания в большинстве случаев связаны с использованием топлива, в состав которого входят антидетонационные присадки низкого качества на металлизиро-

Таблица 1

**Средние наработки на отказ элементов ЭСУД М86**

Конструктивный элемент	Средняя наработка на отказ, тыс. км.	% от общего количества отказов
1. Электронная дроссельная заслонка	94,9	9
2. Датчик давления воздуха	85,6	8
3. Топливная форсунка	89,3	13
4. Катушка зажигания	67,9	10
5. Датчик кислорода	78,1	11
6. Топливный насос	97,2	9
7. Датчик положения распределительного вала	104,7	8
8. Датчик положения коленчатого вала	123,5	7
9. Датчик детонации	105,3	6
10. Электромагнитный клапан регулирования фаз ГРМ	82,6	5
11. Свеча зажигания	40,7	7
12. ЭБУД	115,8	4
13. Прочие	–	3

ванной основе. При сгорании топливно-воздушной смеси на изоляторе свечи образуется металлизированный слой, который является проводником, вызывающим «утечки» искрового разряда. Одновременно пробоям способствует повышенный искровой зазор, образующийся в результате несоблюдения регламента замены свечей зажигания, установленного заводом-изготовителем.

Потеря работоспособности ЭСУД довольно часто связана с отказами датчиков, повреждения которых приводят к серьезным нарушениям в работе двигателя. Из-за отказа, например, датчика положения коленчатого вала невозможен запуск двигателя, так как электронный блок управления (ЭБУД) блокирует подачу топлива. В большинстве случаев датчик теряет свою работоспособность вследствие обрыва его обмотки или ее межвиткового замыкания. Возникающие в процессе эксплуатации неисправности датчиков давления воздуха, кислорода, положения распределительного вала и детонации приводят к увеличению расхода топлива и выбросов вредных веществ в окружающую среду, нарушению оптимального состава рабочей смеси, нестабильной работе двигателя. [2]

Для оценки степени влияния отказов элементов ЭСУД на характеристики работы двигателя были выбраны следующие параметры: мощность, расход топлива, вредные выбросы в окружающую среду оксида углерода СО и

углеводорода СН. Исследования проводились в режиме активного эксперимента. На исследуемом двигателе имитировали отказ каждого из элементов ЭСУД путем его отключения и с помощью соответствующей аппаратуры измеряли выбранные для характеристики работы ДВС параметры. Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 2.

Анализ приведенных в таблице результатов исследований показывает, что наиболее значимое влияние на работу двигателя оказывают неисправности топливного насоса, ЭБУД и датчика положения коленчатого вала, при отказе которых двигатель полностью теряет свою работоспособность. При возникновении неисправностей электронной дроссельной заслонки запуск ДВС возможен, однако развиваемая им мощность настолько мала, что автотранспортное средство не может самостоятельно двигаться.

Неисправности топливных форсунок или катушек зажигания не приводят к полной потере работоспособности двигателя, но характеристики его работы существенно ухудшаются: до 25 % снижается мощность двигателя, от 8 до 18 % увеличивается расход топлива и выбросы вредных веществ в окружающую среду.

Для поддержания ЭСУД в работоспособном состоянии целесообразно выполнять контрольно-диагностические операции по оценке

Таблица 2

Влияние отказов элементов ЭСУД на основные параметры работы двигателя

Отказавший элемент	Изменение параметра			
	Снижение мощности, %	Увеличение расхода топлива, %	Увеличение выбросов вредных веществ, %	
			СО	СН
1. Электронная дроссельная заслонка	85	–	–	–
2. Датчик давления воздуха	25	15	15	20
3. Топливная форсунка	25	18	12	15
4. Катушка зажигания	25	15	10	8
5. Датчик кислорода	18	20	22	17
6. Топливный насос	100	–	–	–
7. Датчик положения распределительного вала	10	5	3	3
8. Датчик положения коленчатого вала	100	–	–	–
9. Датчик детонации	5	4	3	2
10. Электромагнитный клапан регулирования фаз ГРМ	12	5	4	4
11. Свеча зажигания	25	15	10	8
12. ЭБУД	100	–	–	–

технического состояния ее конструктивных элементов при проведении регламентных обслуживаний автомобилей. Однако в принятом регламенте ТО автомобилей как отечественного, так и импортного производства, выполнение таких операций не предусмотрено. В процессе проведения ТО проводится лишь проверка кодов возникших неисправностей, хранящихся в памяти электронного блока управления ЭСУД, и только при их наличии осуществляются операции поиска и устранения повреждений в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя. При отсутствии кодов неисправностей ЭСУД признается технически исправной и дополнительные проверки не проводятся.

Но, как показывают выполненные в работе исследования, только по отсутствию кодов некорректно делать вывод о том, что система исправна, так как в ней могут быть скрытые неисправности. Это объясняется тем, что электронный блок управления заносит в свою память код неисправности только при выходе какого-либо диагностического параметра из заданного в программе нормативного интервала. Это приводит к выпуску в эксплуатацию после проведения ТО автомобилей со скрытыми неисправностями ЭСУД, которые проявятся при дальнейшей эксплуатации.

Основным условием определения технического состояния ЭСУД в процессе проведения регламентных ТО автомобилей является обоснованный выбор диагностических параметров, которые будут в конечном итоге управляющими элементами обеспечения работоспособности системы.

ЭСУД представляет собой довольно сложную техническую систему автомобиля, включающую в себя электронный блок управления, датчики различного назначения, исполнительные элементы (электронная дроссельная заслонка, электромагнитный клапан регулирования фаз ГРМ и др.). Контролировать состояние каждого элемента ЭСУД при проведении регламентных работ технического обслуживания автомобилей нецелесообразно, так как это приведет к большим материальным и трудовым затратам. В данной работе рекомендуется разбить ЭСУД на три подсистемы, каждая из которых может быть оценена одним комплексным диагностическим параметром, отражающим техническое состояние входящих в них конструктивных элементов (табл. 3).

Важным звеном в системе обеспечения работоспособного состояния ЭСУД является нормирование диагностических параметров. Номинальные и предельные нормативы этих параметров устанавливаются по результатам испытаний ЭСУД на заводах-изготовителях. При проведении контрольно-диагностических работ ЭСУД в качестве нормативов целесообразно использовать не предельные, а допустимые значения параметров, при которых обеспечивается необходимый уровень безотказной работы системы на заданной наработке. Для их определения необходимо установить закономерности и интенсивность изменения диагностических параметров, оценивающих состояние ЭСУД, по наработке.

Исчерпание заложенного при проектировании ЭСУД ресурса обусловлено постепенным накоплением различных повреждений в

Таблица 3

Подсистемы ЭСУД и оценивающие их техническое состояние диагностические параметры

Подсистема ЭСУД	Конструктивные элементы подсистемы	Диагностический параметр
Подачи воздуха	Электронная дроссельная заслонка	Отклонение давления воздуха во впускном коллекторе – $P_v$
	Датчик давления воздуха	
Питания топливом и снижения токсичности отработавших газов (ОГ)	Топливная форсунка	Коэффициент коррекции длительности впрыска топлива – $K_t$
	Топливный насос	
	Датчик кислорода	
	Каталитический нейтрализатор	
Изменения фаз ГРМ	Датчик положения коленчатого вала	Отклонение положения фазорегулятора – $\varphi_\phi$
	Датчик положения распределительного вала	
	Электромагнитный клапан регулирования фаз ГРМ	

их элементах (изнашивание, коррозия и т.д.). Развитие таких повреждений носит плавный, монотонный характер, приводящий к возникновению постепенных отказов, поэтому с некоторой вероятностью изменение диагностического параметра может быть описано степенной функцией:

$$S(t) = S_n + \nu t^\alpha, \quad (1)$$

где  $S_n$  – начальное значение параметра технического состояния;  $\nu$  – интенсивность изменения параметра по наработке;  $t$  – наработка изделия;  $\alpha$  – показатель степени, определяющий зависимость значения параметра  $S$  от наработки  $t$ . [1]

В данной работе такие зависимости получены по результатам статистических исследований изменения диагностических параметров для подсистем ЭСУД М 86, устанавливаемых на двигатель ВАЗ-21179 автомобилей LADA VESTA. Например, по результатам обработки статистических данных изменение диагностического параметра  $K_T$  по наработке описывается следующим аналитическим уравнением:

$$K_T = K_{Tn} + \nu t^\alpha = 0,8 + 0,024 \cdot t^{1,05}, \quad (2)$$

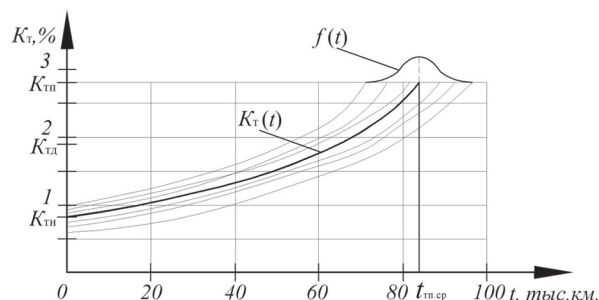
где  $K_{Tn}$  – начальное (номинальное) значение диагностического параметра.

Показатель степени  $\alpha$  определяется опытным путем на основе обработки статистического материала. Для параметра диагностирования подсистемы питания топливом и снижения токсичности ОГ его значение составило:  $\alpha = 1,05$ . Интенсивность изменения параметра  $K_T$  по наработке определяется из выражения:

$$\nu = \frac{K_{Tn} - K_{Tn}}{t_{cp}} = \frac{2,8 - 0,8}{82} = 0,024 \text{ тыс. км}, \quad (3)$$

где  $K_{Tn}$ ,  $K_{Tn}$  – предельное и начальное значение диагностического параметра;  $t_{cp}$  – средняя наработка подсистемы питания топливом и снижения токсичности ОГ от начала эксплуатации до отказа ( $t_{cp} = 82$  тыс. км).

Графическая интерпретация зависимости изменения диагностического параметра  $K_T$  (подсистемы питания топливом и снижения токсичности ОГ) приведена на рис. 1



**Рис. 1. График изменения значения  $K_T$  по наработке:**  
 $K_{Tn}$ ,  $K_{Td}$ ,  $K_{Tp}$  – начальное, допустимое и предельное значения диагностического параметра;  
 $t_{Tp,cp}$  – среднее значение предельной наработки подсистемы;  $f(t)$  – плотность наработок до предельного состояния

При известной периодичности проведения технического обслуживания (для автомобилей LADA VESTA  $t_{To} = 15$  тыс. км), величине предельного норматива  $K_{Tn} = 2,8$  % и интенсивности изменения параметра значение допустимого норматива  $K_{Td}$  определяется из выражения:

$$K_{Td} = \nu \left( \sqrt[\alpha]{\frac{K_{Tp}}{\nu}} - t_{To} \right) = 0,024 \left( \sqrt[1,05]{\frac{2,8}{0,024}} - 15 \right) = 1,9 \%. \quad (4)$$

По остальным диагностическим параметрам рассчитанные значения допустимых нормативов приведены в табл. 4.

Полученные значения предельных и допустимых нормативов диагностических параметров являются необходимыми элементами в системе обеспечения работоспособного состояния ЭСУД при проведении контрольно-диагностических операций на СТОА. Отклонение параметров за пределы допуска, вызываемое

Таблица 4

**Нормативные значения диагностических параметров и уравнения, описывающие закономерности их изменения по наработке**

Диагностический параметр	Нормативное значение диагностического параметра			Уравнение описывающее закономерность изменения параметра
	Номинальное	Допустимое	Предельное	
$P_b$ , мбар	55	90	115	$P_b = 55 + 0,67t^{1,05}$
$K_T$ , %	0,8	1,9	2,8	$K_T = 0,8 + 0,24t^{1,05}$
$\Phi_\phi$ , ° ПКВ	2	6,2	7,7	$\Phi_\phi = 2 + 0,43t^{0,49}$

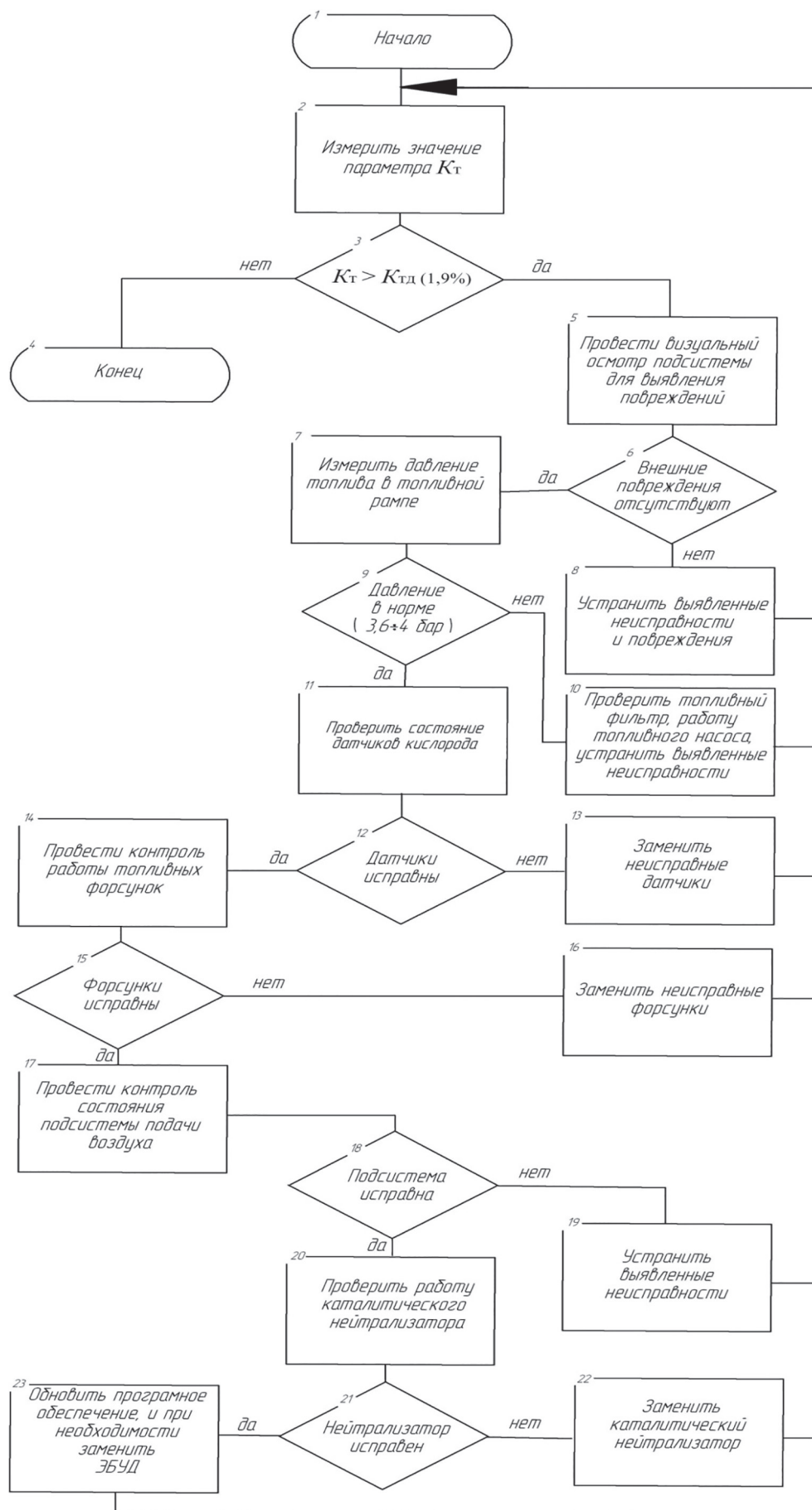


Рис. 2. Алгоритм диагностирования подсистемы питания топливом и снижения токсичности ОГ

возникновением неисправностей, служит основой для принятия решения о проведении необходимых технических воздействий (операций углубленного диагностирования, регулировок, ремонта и т.д.). Диагностирование подсистем ЭСУД осуществляют в соответствии с разработанными алгоритмами, устанавливающими рациональную последовательность контрольных, регулировочных и других операций по выявлению и устранению возникающих в процессе эксплуатации повреждений.

При проведении регламентного обслуживания автомобиля LADA VESTA, например, с пробегом 75 тыс. км (ТО-5), получены следующие значения диагностических параметров подсистем ЭСУД:  $P_b = 70$  мбар;  $K_T = 2,3$  %;  $\varphi_\phi = 3,4^\circ$ . В связи с тем, что параметр  $K_T = 2,3$  % вышел за допустимый норматив, необходимо провести углубленное диагностирование подсистемы питания топливом и снижения токсичности ОГ с целью выявления и устранения, возникших в ней повреждений. Диагностирование подсистемы проводится в соответствие с разработанным алгоритмом (рис. 2).

Выявленные в результате диагностирования подсистемы питания топливом и снижения токсичности ОГ неисправности элементов необходимо устранить и провести повторный контроль диагностического параметра  $K_T$ .

В результате проведения углубленного диагностирования подсистемы питания топливом и снижения токсичности ОГ на рассматриваемом автомобиле LADA VESTA выявлена неисправность топливной форсунки второго цилиндра двигателя (потеря герметичности запорного клапана). После замены неисправной форсунки и последующего контроля коэффициента коррекции его значение составило  $K_T = 1,2$  %, что лежит в пределах допуска.

### Заключение

Разработанная система обеспечения работоспособности ЭСУД позволяет существенно снизить количество эксплуатационных отказов ее конструктивных элементов за счет своевременного выявления и устранения возникающих в ней повреждений, которые не были обнаружены системой бортовой диагностики автомобилей. До минимума сокращается выпуск в эксплуатацию автомобилей, скрытые неисправности ЭСУД которых не были устранены в процессе их обслуживания и которые проявляются при дальнейшей эксплуатации.

Система апробирована и внедрена в технологические процессы ТО и ремонта автомобилей дилерского центра LADA в г. Владимире.

### Литература

1. Баженов Ю.В. Основы теории надежности машин: учеб. пособие для вузов. М.: ФОРУМ. 2014. 320 с.
2. Баженов Ю.В., Каленов В.П. Разработка методики диагностирования электронных систем управления двигателем // Автотранспортное предприятие. 2015. № 4. С. 44–46.
3. Болдин А.П., Сарбаев В.И. Надежность и техническая диагностика подвижного состава автомобильного транспорта: учеб. пособие для вузов. М.: МАИИ. 2010. 206 с.
4. Набоких В.А. Диагностика электрооборудования автомобилей и тракторов: учеб. пособие. М.: ФОРУМ. 2013. 288 с.
5. Тюнин А.А. Диагностика электронных систем управления двигателями легковых автомобилей: учеб. пособие. М.: Солон–Пресс. 2007. 352 с.
6. Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей и тракторов: учеб. пособие. М.: Машиностроение. 2007. 656 с.

### References

1. Bazhenov YU.V. *Osnovy teorii nadezhnosti mashin* [Fundamentals of the theory of machine reliability]: ucheb. posobie dlya vuzov. Moscow: FORUM Publ. 2014. 320 p.
2. Bazhenov YU.V., Kalenov V.P. Development of methods for diagnosing electronic engine control systems. *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2015. No 4, pp. 44–46 (in Russ.).
3. Boldin A.P., Sarbaev V.I. *Nadyozhnost' i tekhnicheskaya diagnostika podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta* [Reliability and technical diagnostics of automobiles]: ucheb. posobie dlya vuzov. Moscow: MAII Publ. 2010. 206 p.
4. Nabokih V.A. *Diagnostika ehlektrooborudovaniya avtomobilej i traktorov* [Diagnostics of electrical equipment of automobiles and tractors]: ucheb. posobie. Moscow: FORUM Publ. 2013. 288 p.
5. Tyunin A.A. *Diagnostika ehlektronnyh sistem upravleniya dviगतelyami legkovyh avtomobilej* [Diagnostics of electronic engine control systems for passenger vehicles]: ucheb. posobie. Moscow: Solon–Press Publ. 2007. 352 p.
6. CHzhkov YU.P. *EHlektrooborudovanie avtomobilej i traktorov* [Electrical equipment of automobiles and tractors]: ucheb. posobie. Moscow: Mashinostroenie Publ. 2007. 656 p.

## DIAGNOSIS OF ELECTRONIC ENGINE CONTROL SYSTEMS FOR LADA AUTOMOBILES

Ph.D. **YU.V. Bazhenov, V.P. Kalenov**

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia  
vpkaloynov@mail.ru

*The article is devoted to the development of a system for ensuring the efficiency of ECM through the introduction of diagnostics of its technical condition into the technological processes of servicing and repairing vehicles. In order to create such a system, we performed studies on the operational reliability of the structural elements of the ECU, the effect of their failures on the engine operating parameters, and the substantiation of diagnostic parameters evaluating the technical condition of the system. The object of the research is the electronic control system M86, installed on domestic LADA VESTA automobiles (VAZ-21179 engine). According to the results of the research, the average operating time of the structural elements of the ECM to failure and the reasons for their occurrence were established. Authors imitated the failure of each ECM elements by turning it off and using the appropriate equipment to measure selected parameters of engine operation. The most significant influence on the operation of the engine is caused by failure of fuel pump, ECU and crankshaft position sensor. The failure of this elements causes the complete loss of engine performance as fuel supply to the cylinders stops. In case of failure of other elements of ECM the engine performance is maintained, but its operating capabilities significantly decrease. To ensure the required level of reliability of the ECM, it is necessary at regular intervals to maintain the vehicles to diagnose the technical condition of its elements at automobile service enterprises. In this paper, it is recommended to split the ECM into three subsystems, each of which is evaluated by one complex diagnostic parameter reflecting the technical condition of the structural elements included there. The deviation of the parameters beyond the tolerance limits caused by the occurrence of faults serves as the basis for deciding whether to conduct the necessary technical actions. Diagnostics of the ECM subsystems is carried out in accordance with the developed algorithms that establish a rational sequence of control, adjustment and other operations to identify and eliminate damages arising in the process of operation. As an example, the article presents an algorithm for diagnosing the fuel supply subsystem and reducing the toxicity of exhaust gases. The developments proposed in the article were tested and introduced into the technological processes of maintenance and automobile repairs of the LADA dealership center in the city of Vladimir.*

**Keywords:** *electronic engine management system, design element, diagnostic parameter, operability, algorithm.*