

2. Прочность, устойчивость, колебания: справ. в 3 т. / под ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановко. – М. : Книга по требованию, 2012. – Т. 2. – 463 с.
3. Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справочное пособие: в 6 т. / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – Том 6: Диагностическое обеспечение технической и экологической безопасности. – 538 с.
4. Комплексный контроль и повышение качества зубчатых приводных механизмов для машиностроения / О.В. Берестнев [и др.]. — Минск : БелГИСС, 2009. – 115 с.
5. Поддубко, С. Н. Вибрационно-импульсный метод оценки технического состояния подшипников качения. Исследование параметров ударных импульсов при изнашивании элементов подшипника. / С. Н. Поддубко [и др.] // Международный научно-технический журнал «Механика машин, механизмов и материалов» – Минск, 2019 – Выпуск № 2(47): Общие проблемы механики. – С. 5–13.

УДК 621.113

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ**

*Кострицкий В. В.*

Полоцкий государственный университет;  
г. Новополоцк, Республика Беларусь

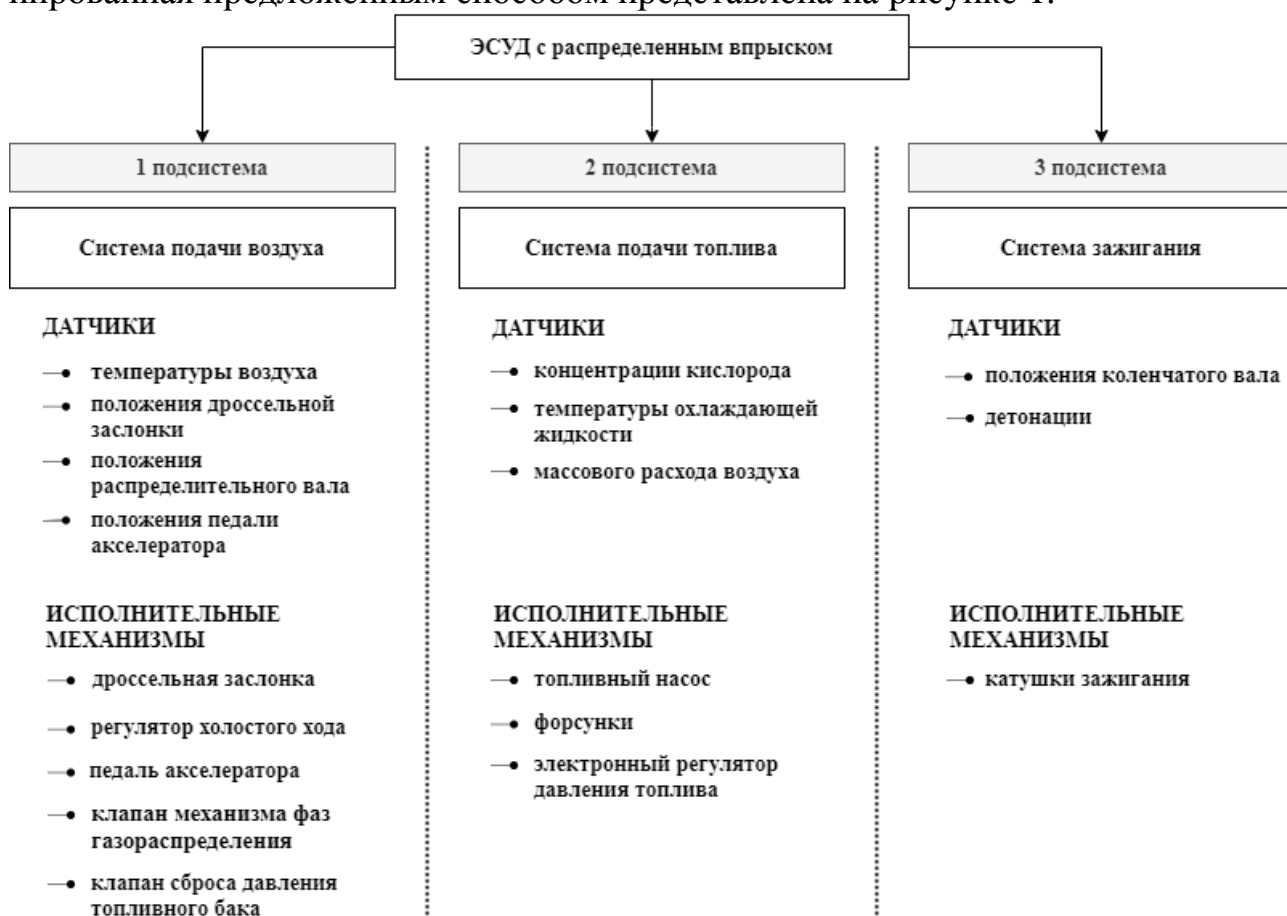
**Введение.** К настоящему времени все производимые автомобили оборудуются электронными системами управления двигателем (ЭСУД). ЭСУД управляет работой современного двигателя внутреннего сгорания, которая позволяет добиться высоких технико-экономических показателей работы ДВС [1].

В процессе эксплуатации в конструктивных элементах ЭСУД, как и в любой другой системе автомобиля, неизбежно возникают различные неисправности (нарушение регулировок, изменение электрических характеристик, коррозионное разрушение контактов, повреждение изоляции и т. д.). Это влечет за собой ухудшение выходных параметров работы ДВС (мощности, топливной экономичности, выбросов вредных веществ с отработавшими газами) и, в конечном счете, приводит к частичной или полной потере им работоспособного состояния [2].

Для предупреждения отказов и обеспечения заданного уровня эксплуатационной надежности ЭСУД при проведении регламентных работ технического обслуживания (ТО) автомобилей целесообразно контролировать состояние конструктивных элементов этой системы и при необходимости устранять в них возникшие повреждения. При этом заводами-изготовителями при проведении регламентных ТО рекомендуется проверять лишь коды неисправностей в памяти электронного блока управления двигателя (ЭБУД) и только при их наличии выполнять необходимые контрольно-диагностические операции. При отсутствии в ЭБУД кодов неисправностей ЭСУД признается технически исправной и дополнительные проверки не проводятся. В большинстве случаев коды неисправностей не указывают конкретно на неисправный элемент, а указывают на отклонения допустимого диапазона параметров ЭСУД [3]. Кроме того, отклонения значений параметров в элементах ЭСУД, не превышающие предельные значения

значительно ухудшают показатели экономичности, динамичности и экологичности двигателя внутреннего сгорания. Такие неисправности ЭСУД носят скрытый характер и наиболее сложны, и трудоёмки в определении. В статье предложен метод определения состояния элементов ЭСУД, который позволяет повысить эффективность диагностирования.

**Основная часть.** ЭСУД состоит из блока управления, датчиковой аппаратуры и исполнительных механизмов. Для удобства электронную систему управления бензинового двигателя можно разбить на 3 основные подсистемы: система подачи воздуха, система подачи топлива и система зажигания. В каждую из этих подсистем будет входить соответствующий набор датчиков и исполнительных механизмов, который отвечает согласно логике построения ЭСУД непосредственно за работоспособность конкретной подсистемы. Например, типичная система управления бензиновым двигателем с распределенным впрыском сгруппированная предложенным способом представлена на рисунке 1.



*Рисунок 1 – Подсистемы ЭСУД с распределенным впрыском*

Сложность диагностирования ЭСУД заключается в том, что каждый из элементов имеет свою методику проверки, поэтому процесс контроля весьма длительный и трудоёмкий. Кроме того, требует широкий перечень контрольно-диагностического оборудования и технической документации.

В результате полученный массив диагностических параметров сложно проанализировать и выявить связи между признаками неисправности и конкретным элементом ЭСУД. Поэтому для упрощения диагностирования предлагается сформировать три группы диагностических параметров:

- 1-я группа. Диагностические параметры первого порядка;
- 2-я группа. Диагностические параметры второго порядка;
- 3-я группа. Диагностические параметры третьего порядка.

К *диагностическим параметрам первого порядка* следует отнести такие параметры, как мощность двигателя, расход топлива и качество отработавших газов (содержания в отработавших газах компонентов CO, CH, O<sub>2</sub>, NO). В эту группу параметров можно отнести и коды неисправностей, записываемые в памяти ЭБУД.

Изменение мощности и расхода топлива во время эксплуатации выявить достаточно сложно и за частую способы их определения и расчеты носят приближенный характер. Однако по косвенным субъективным признакам (ухудшение динамики разгона, снижение тяги и т. д.) можно предположить об снижении мощности двигателя, а среднее значение расхода топлива является неотъемлемым параметром бортового компьютера любого современного автомобиля. А вот качество отработавших газов носит объективный характер и определяется газоанализатором по содержанию таких компонентов, как CO, CH, O<sub>2</sub> и NO. Для выявления кодов неисправностей используют различные диагностические системы (Launch X431 Pro, Bosch KTS, Autocom, Autel и т. д.).

Параметры первого порядка являются общими для всех подсистем. Ухудшение этих параметров является первичным признаком наличия неисправностей элементов ЭСУД и предполагает переход к рассмотрению 2-ой группы параметров.

Вторая группа параметров – *диагностические параметры второго порядка*. Это комплексные диагностические параметры, каждый из которых отражает техническое состояние конкретной подсистемы в целом. Количество таких параметров будет равным количеству подсистем ЭСУД. Соответственно для приведенного выше примера системы управления бензиновым двигателем с распределенным впрыском к таким параметрам относятся:

- давление воздуха во впускном коллекторе  $P_{вп}$ , мбар;
- длительность импульса открытия форсунки  $t_{впр}$ , мс;
- угол опережения зажигания,  $k_{оз}$ , °.

Выбор параметра второго порядка для подсистемы может быть осуществлен в частном порядке в зависимости от конкретной электронной системы. Но этот параметр должен быть высокочувствительным к изменению технического состояния элементов подсистемы. Кроме того, быть однозначным т. е. монотонно изменяться в зависимости от происходящих изменений технического состояния элементов подсистемы, а также стабильным – обладать постоянством значений при многократных измерениях одинаковых элементов в одном и том же техническом состоянии.

Предельные значения этих параметров устанавливаются по результатам испытаний ЭСУД на заводах-изготовителях. Наступление предельных значений параметров второго порядка влияет на показатели параметров первого порядка и предполагает возникновения в памяти ЭБУД соответствующего кода неисправности.

Однако в ходе испытаний было выявлено, что в пределах (текущих) допустимых значений параметров второго порядка наступает такое техническое состояние элементов ЭСУД, которое приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик ДВС, т.е. к изменениям параметров первого порядка, но при этом коды неисправности в памяти ЭБУД не записываются или носят не постоянный харак-

тер. Такое состояние ЭСУД является наиболее сложным с точки зрения постановки диагноза и выявления неисправности конкретного элемента. А такие значения параметров второго порядка можно назвать *условно допустимыми*.

Определение условно допустимых значений параметров предполагает наличие закономерностей их изменения по наработке. Такие закономерности можно получить по результатам исследований эксплуатационной надежности подсистем в эксплуатации и с достаточной степенью точности описать степенной функцией [2]:

$$S(t) = S_n + vt^\alpha,$$

где  $S_n$  – номинальное значение диагностического параметра  $S$ ;  $v$  – интенсивность изменения параметра;  $\alpha$  – показатель степени, определяющий характер и степень зависимости диагностического параметра от наработки  $t$ .

Зная периодичность регламентного обслуживания автомобиля  $t_0$ , величину предельного норматива  $S_n$  и интенсивность изменения параметра по наработке  $v$ , условно допустимое значение параметра определяется по формуле:

$$S_d = v \left( \sqrt[\alpha]{\frac{S_n}{v}} - t_0 \right).$$

Как показали выполненные исследования, значения параметров второго порядка в пределах условно допустимых значений свидетельствует о том, что в той подсистеме ЭСУД, к которой относится параметр второго порядка имеется неисправный элемент. При чем неисправным элементом может быть как исполнительный механизм, так и датчик.

Если же значение параметра первого порядка имеет отклонение, а значение параметра второго порядка находится в пределах допустимых значений, то неисправным является исполнительный механизм ЭСУД.

Для получения параметров второго порядка используют различные средства диагностирования. Например, для определения значения давления воздуха во впускном коллекторе используется вакуумметр, для определения длительности импульса открытия форсунки применяется осциллограф, а для определения угла опережения зажигания либо диагностическая система, либо стробоскоп.

К третьей группе относятся параметры, которые непосредственно характеризуют элементы ЭСУД. Эти параметры получили название *параметры третьего порядка*. Для датчиковой аппаратуры этими параметрами являются выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  и выходную силу тока  $I_{\text{вых}}$  на сигнальном выводе, а для исполнительных механизмов – управляющие напряжение  $U_{\text{упр}}$  и управляющий ток  $I_{\text{упр}}$ .

Значения параметров третьего порядка определяются путём выявления закономерностей изменения напряжения и силы тока на различных режимах работы двигателя и сравнении их с эталонными. Для получения параметров третьего порядка используется осциллограф или мотортестер.

Алгоритм диагностирования ЭСУД предложенным методом представлен на рисунке 2.

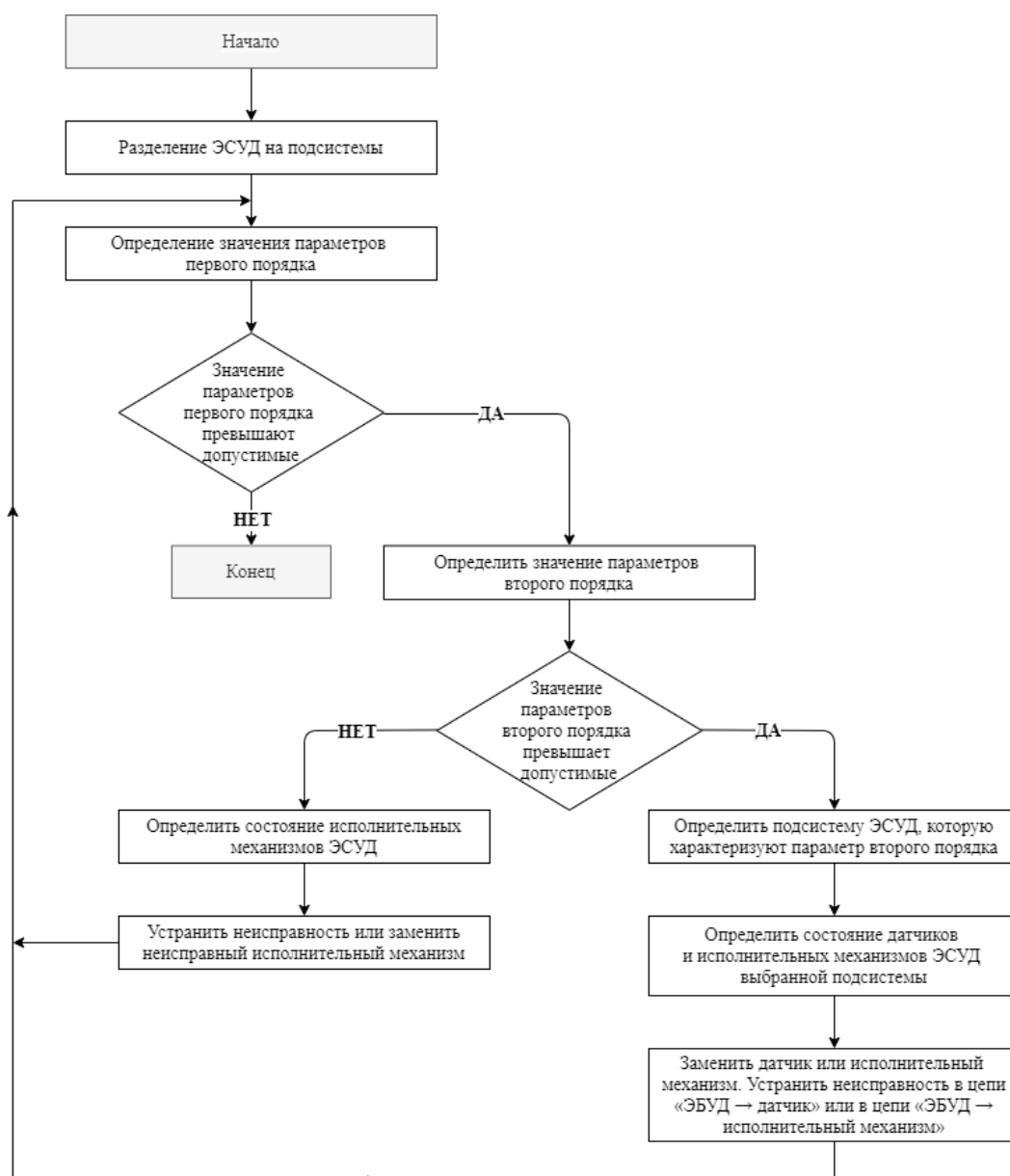


Рисунок 2 – Алгоритм диагностирования ЭСУД

**Заключение.** Разработанный метод повышает эффективность диагностирования ЭСУД на 25 % путем оптимизации количества контрольно-диагностических операций, а также обеспечивает выполнение операций с наименьшим коэффициентом повторяемости. Это значительно сокращает трудоёмкость, затраты на обнаружение, локализацию и устранение возникших в ЭСУД неисправностей и обеспечивает тем самым высокий уровень ее надежности в эксплуатации.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баженов, Ю. В. Основы теории надежности машин: учебное пособие для вузов / Ю. В. Баженов. М.: ФОРУМ, 2014. – 320 с.
2. Баженов, Ю. В. Поддержание надежности электронных систем управления двигателем в эксплуатации / Ю. В. Баженов, В. П. Каленов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2016. – № 2. – с. 2–5.
3. Тюнин, А. А. Диагностика электронных систем управления двигателями легковых автомобилей: учебное пособие / А. А. Тюнин. М. : Солон-Пресс, 2017. – 352 с.