

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»

Б.В. Журавский, Л.Н. Тышкевич

**УСТРОЙСТВО, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Учебное пособие



Омск ■ 2017

ВПЕРЁД

УДК 621.43
ББК 39.33-08
Ж91

Согласно 436-ФЗ от 29.12.2010 «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» данная продукция маркировке не подлежит.

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. В.Н. Кузнецова (СибАДИ);
канд. техн. наук, доц. И.П. Залознов (ОмГТУ)

Работа утверждена редакционно-издательским советом СибАДИ в качестве учебного пособия.

Журавский, Борис Викторович.

**Ж91 Устройство, функционирование и диагностирование электронной системы управления бензинового двигателя [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б.В. Журавский, Л.Н. Тышкевич ; кафедра «Эксплуатация и ремонт автомобилей». – Омск : СибАДИ, 2017. – 1 электрон. опт. диск (DVD-R). – Загл. с этикетки диска.
ISBN 978-5-93204-974-7.**

Приведено описание устройства и функционирования электронной системы управления бензинового двигателя, рассмотрены методы диагностирования данной системы. Приводится описание устройства и возможностей стенда, позволяющего имитировать работу электронной системы управления двигателя, рассмотрены особенности работы диагностического прибора модели CL-550.

Содержит интерактивное оглавление в виде закладок, что обеспечивает удобную навигацию. Переход между файлами осуществляется с помощью кнопок «Вперёд» и «Назад», начинать работу следует с файла «Start».

Предназначено для бакалавров направления «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» по дисциплинам «Диагностика электронных систем автомобилей», «Электронные системы электрооборудования автомобилей», для магистров направления «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» по дисциплинам «Современные электронные системы автомобилей» и «Эксплуатация систем управления современных автомобилей» а также для слушателей программы повышения квалификации «Современные электронные системы управления бензиновых двигателей».

Текстовое (символьное) издание (10,0 МБ)

Системные требования : Intel, 3,4 GHz ; 150 МБ ; Windows XP/Vista/7 ; DVD-ROM ; 1 ГБ
свободного места на жестком диске ; программа для чтения pdf-файлов
Adobe Acrobat Reader

Редактор Н.В. Павлова

Издание первое. Дата подписания к использованию 11.05.2017

Издательско-полиграфический комплекс СибАДИ. 644080, г. Омск, пр. Мира, 5 РИО ИПК
СибАДИ. 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2017

© Журавский Б.В., Тышкевич Л.Н., 2017



ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения эффективности и безопасности эксплуатации транспортных средств является весьма актуальной для Российской Федерации. Двигатель автомобиля является одним из наиболее сложных агрегатов, который при его техническом обслуживании и ремонте требует специалистов высокой квалификации и применение специального технологического оборудования и специального инструмента.

Процесс совершенствования ДВС достаточно прогрессивный, так как совершенствуются и появляются новые конструкции. Активными темпами идет совершенствование управляющей системы, которая обеспечивает конкурентоспособность традиционным конструкциям ДВС.

Прогресс в системах управления ДВС идет в основном за счет совершенствования управляющей подсистемы. Если основные механические агрегаты, узлы и детали классического ДВС не претерпели значительных изменений по функциональному применению и конструкции в течение длительного времени, то в управляющей подсистеме механические элементы полностью заменены электронными с использованием микропрограммного принципа управления.

Без электронных систем управления в двигателе практически ничего не регулируется и не контролируется. Доля электроники в создании стоимости автомобилей на сегодняшний день составляет до 40%. Этот показатель имеет тенденцию к повышению. Современные системы управления двигателями способны выполнять несколько миллионов вычислительных операций в секунду.

В учебном пособии рассматривается система ЭСУД BOSCH 7.4.4., которая является комплексной и управляет топливоподачей, продувкой адсорбера системы улавливания паров бензина, работой вентиляторов системы. ЭСУД BOSCH 7.4.4. регулирует момент зажигания и время накопления энергии в катушках зажигания. Изложены описание и порядок определения характеристик датчиков и исполнительных элементов системы управления двигателем, анализ полученных характеристических карт топливоподачи и угла опережения зажигания, а также выявление неисправностей при помощи специального диагностического оборудования.

1. ДАТЧИКИ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

1.1. Теоретические основы

Общие сведения о ЭСУД BOSCH ME 7.4.4.

ЭСУД BOSCH ME 7.4.4. является комплексной. Эта система управляет топливоподачей, продувкой адсорбера системы улавливания паров бензина, работой вентиляторов системы охлаждения, кроме того, ЭСУД регулирует момент зажигания и время накопления энергии в катушках зажигания. Система обеспечивает соответствие содержания токсичных выбросов жестким требованиям европейских норм при сохранении высоких динамических показателей двигателя и низкого расхода топлива. ЭСУД способна эффективно взаимодействовать с автомобильной противоугонной системой.

Подсистема топливоподдачи ЭСУД BOSCH ME 7.4.4. является многоточечной фазированной. Количество подаваемого топлива определяется количеством воздуха, всасываемого двигателем. В системе используется косвенный метод определения количества всасываемого воздуха, используется информация об абсолютном давлении во впускном коллекторе и частоте вращения коленчатого вала.

В подсистеме зажигания ЭСУД BOSCH ME 7.4.4. используется статическое распределение высокого напряжения по цилиндрам за счет применения четырехвыводной катушки зажигания, в которой интегрированы две двухвыводные катушки зажигания.

Рассматриваемая ЭСУД оснащена электроуправляемой дроссельной заслонкой (система «E-gas»), между педалью акселератора и дроссельным узлом отсутствует механическая связь. Педаль акселератора обеспечивает электронный блок управления (ЭБУ) двигателя информацией о требуемой частоте вращения двигателя.

ЭСУД состоит из микропроцессорного ЭБУ, комплекта датчиков, исполнительных элементов и соединительных проводов.

ЭБУ является центральным устройством ЭСУД. ЭБУ получает информацию от датчиков, обрабатывает полученную информацию в соответствии с определенными алгоритмами и управляет исполнительными элементами, обеспечивая оптимальную работу

двигателя при заданном уровне показателей. ЭБУ включает в себя встроенную подсистему самодиагностики.

Структурная схема ЭСУД BOSCH ME 7.4.4. показана на рис. 1, электрическая – на рис. П.1.2.



Рис. 1. Структурная схема ЭСУД BOSCH ME 7.4.4.

1.2. Устройство и принцип действия датчиков, входящих в состав ЭСУД BOSCH ME 7.4.4.

Датчик – элемент систем управления, преобразующий контролируемую величину в удобный для использования сигнал, в автомобильных системах управления – в электрический сигнал. Электрические сигналы с датчиков поступают в электронный блок управления.

В состав ЭСУД BOSCH ME 7.4.4. входят датчики: частоты вращения коленчатого вала; положения распределительного вала (фазы); абсолютного давления во впускном коллекторе; температуры охлаждающей жидкости; температуры поступающего воздуха; положения педали акселератора; положения дроссельной заслонки; детонации и концентрации кислорода в отработавших газах.

1.2.1. Датчик частоты вращения (положения) коленчатого вала

Датчик частоты вращения (положения) коленчатого вала индуктивного типа предназначен для определения частоты вращения, углового положения коленчатого вала двигателя и синхронизации работы ЭБУ. Сигналы от датчика используются системой управления двигателем для определения момента впрыска топлива, количества впрыскиваемого топлива, момента зажигания, угла поворота распределительного вала при работе системы изменения фаз газораспределения.

Датчик выполнен в виде индукционной катушки с намагниченным сердечником (рис. 2). В данной системе управления применяется датчик, активное электрическое сопротивление обмотки которого 390 Ом. Датчик крепится к двигателю при помощи кронштейна.

В основе работы датчика лежит явление электромагнитной индукции. При прохождении относительно намагниченного сердечника зубьев ферромагнитного задающего диска, расположенного на маховике двигателя, магнитный поток, пронизывающий витки катушки датчика, изменяется, а в катушке датчика индуцируется ЭДС. Выходной сигнал представляет собой последовательность двухполярных электрических импульсов (рис. 3). Два пикообразные полуволны импульса расположены симметрично относительно оси, проходящей через нулевую точку, а нулевая точка соответствует центру каждого зуба. Амплитуда выходного сигнала зависит от скорости изменения магнитного потока (угловой скорости задающего диска), величины зазора между сердечником датчика и задающим диском и от параметров конструкции. Частота выходного сигнала датчика зависит от угловой скорости задающего диска, т.е. коленчатого вала.

Зубья на задающем диске располагаются с шагом в 6° . При таком шаге на диске помещаются 60 зубьев, однако два зуба отсутствуют для создания отметки синхронизации, служащей началом отсчета для системы управления, чем обеспечивается синхронизация функционирования системы управления с рабочим процессом двигателя. Номер зуба на диске отсчитывается от отметки синхронизации по направлению вращения диска. При совмещении середины первого зуба диска синхронизации с осью датчика,

коленчатый вал двигателя находится в положении 120° (20 зубьев) до верхней мертвой точки первого и четвертого цилиндров (см. рис. 3).

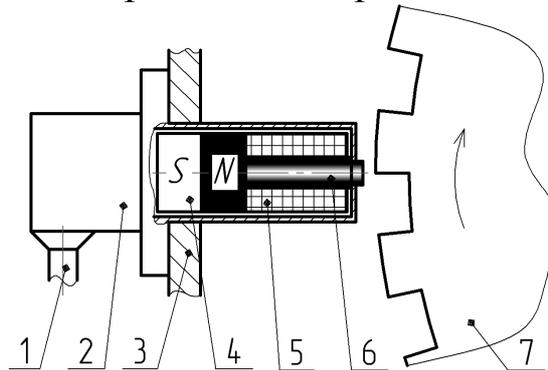


Рис. 2. Устройство датчика частоты вращения коленчатого вала:
 1 – электрический кабель; 2 – корпус датчика; 3 – корпус двигателя;
 4 – постоянный магнит; 5 – обмотка; 6 – сердечник; 7 – задающий диск

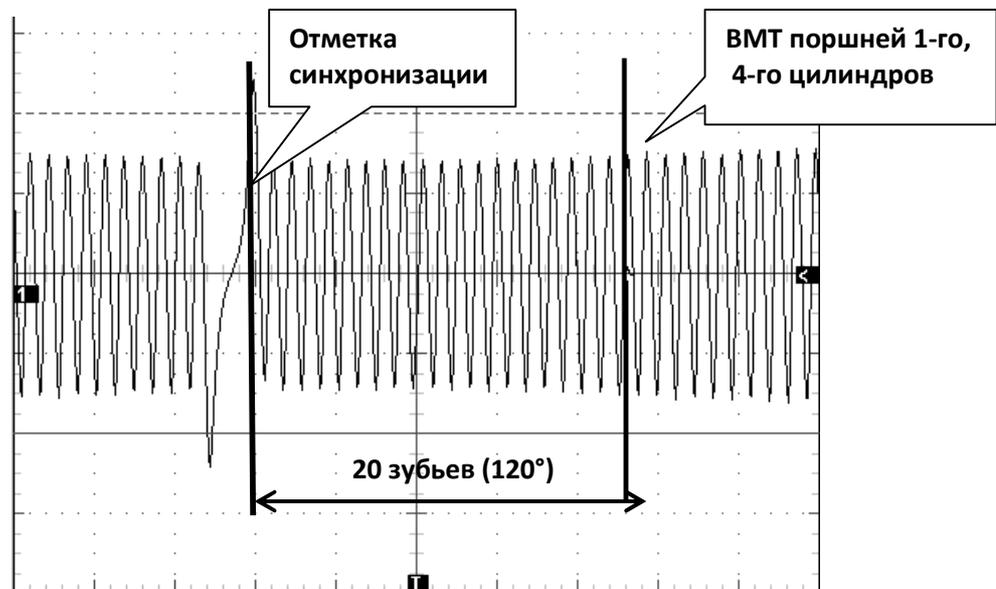
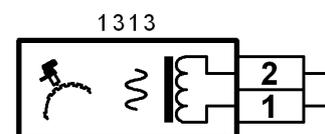


Рис. 3. Осциллограмма сигнала датчика частоты вращения коленчатого вала

Индуктивный датчик частоты вращения коленчатого вала имеет двухпроводную схему подключения к блоку управления (см. рис. П.1.2). Условное графическое обозначение индуктивного датчика частоты представлено на рис. 4.

Рис. 4. Условное графическое обозначение индуктивного датчика частоты вращения коленчатого вала



1.2.2. Датчик положения распределительного вала (датчик фазы)

Датчик положения распределительного вала (датчик фазы) предназначен для определения ВМТ в первом цилиндре в конце такта сжатия, что обеспечивает точную синхронизацию работы ЭБУ с рабочим процессом двигателя.

Принцип действия датчика фазы основан на эффекте Холла. Эффектом Холла называется возникновение разности потенциалов в проводнике или полупроводнике, по которым проходит электрический ток, при помещении их в магнитное поле, перпендикулярное к направлению тока. Если на прямоугольную полупроводниковую пластину, к двум параллельным граням которой приложено напряжение и проходит электрический ток, будет воздействовать магнитное поле, напряженность которого перпендикулярна проходящему току, то на двух других параллельных гранях возникает напряжение Холла, величина последнего пропорциональна величине тока и напряженности магнитного поля (рис. 5).

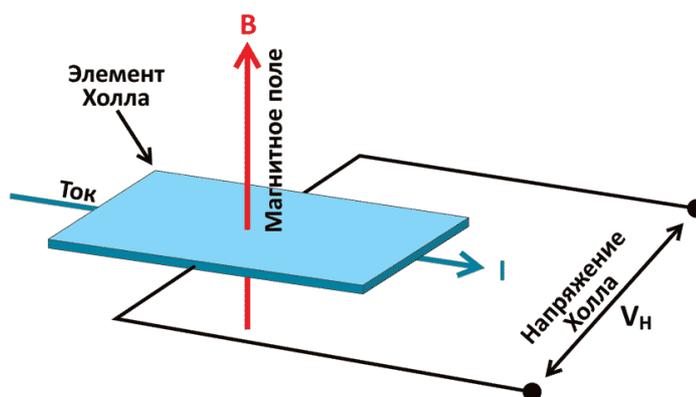


Рис. 5. Эффект Холла

Устройство датчика фазы показано на рис. 6. В корпусе датчика размещены интегральная электрическая схема Холла, постоянный магнит и электрический разъем. Интегральная схема Холла расположена между задающим диском и постоянным магнитом, создающим магнитное поле, вектор магнитной индукции которого перпендикулярен элементу Холла. Задающий диск закреплен на распределительном валу.

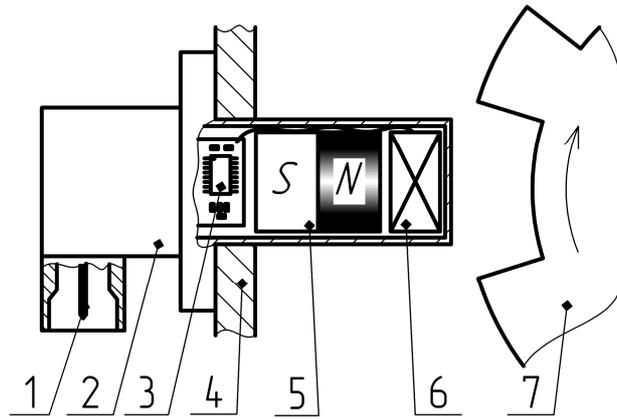


Рис. 6. Устройство датчика фазы:
 1 – электрический разъем; 2 – корпус датчика;
 3 – интегральная электрическая схема;
 4 – головка блока цилиндров;
 5 – постоянный магнит;
 6 – элемент Холла; 7 – задающий диск

Когда зуб задающего диска проходит мимо элемента Холла, то изменяется напряженность магнитного поля, соответственно меняется напряжение Холла. Изменение напряжения Холла преобразуется встроенной интегральной электрической схемой в сигнал в форме прямоугольных импульсов (рис. 7).

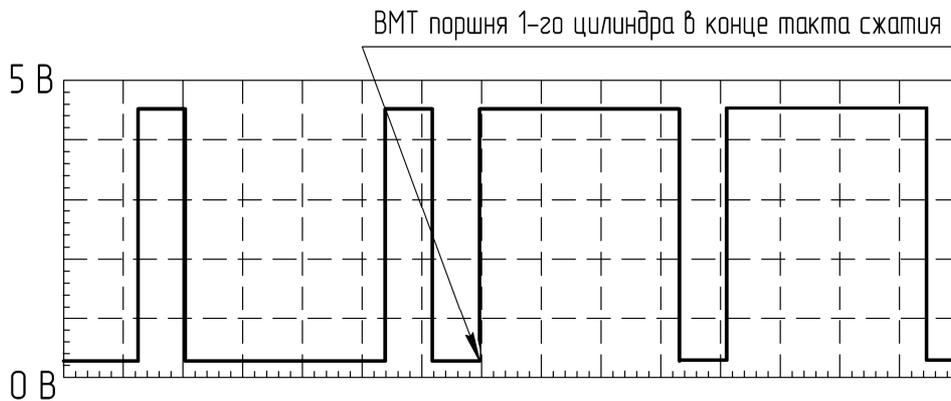


Рис. 7. Сигнал датчика фазы

Частота выходного сигнала датчика фазы зависит от частоты вращения распределительного вала (задающего диска). Амплитуда сигнала не зависит от частоты вращения распределительного вала (задающего диска).

Число импульсов, приходящееся на один оборот распределительного вала, их длительность зависят от конструкции

задающего диска. В данной системе управления на распределительном валу установлен задающий диск с четырьмя зубьями, причем ширина одной пары зубьев больше ширины другой пары (рис. 8). В результате при работе двигателя с датчика фазы в ЭБУ поступает периодически повторяющаяся серия импульсов: два коротких и два длинных, амплитуда которых составляет 4,3 – 4,8 В (см. рис. 8).

Для работы датчика фазы на основе эффекта Холла требуется внешний источник постоянного тока. Питание на датчик поступает из ЭБУ, напряжение питания составляет 5 В.

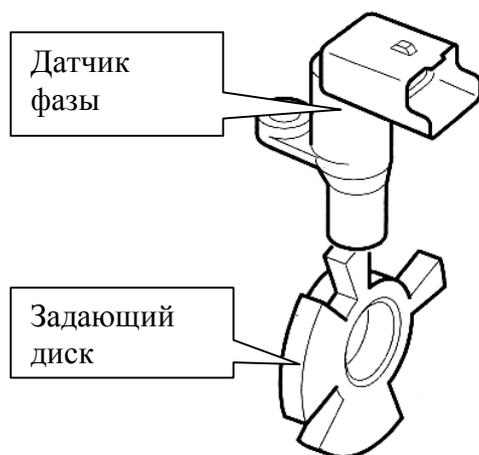


Рис. 8. Устройство задающего диска датчика фазы

Датчик фазы имеет трехпроводную схему соединения с блоком управления: один из проводников является питающим, второй – сигнальным и третий – общим («масса») (см. рис. П.1.2). Условное графическое обозначение датчика фазы приведено на рис. 9.

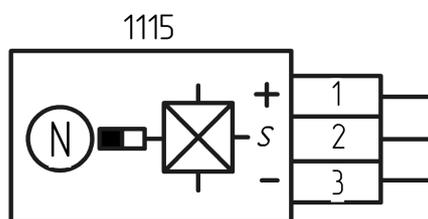


Рис. 9. Условное графическое обозначение датчика фазы на основе эффекта Холла:

1 – питание +5В; 2 – сигнальный проводник; 3 – общий вывод («масса»)

1.2.3. Датчик абсолютного давления во впускном коллекторе

Информация об абсолютном давлении во впускном коллекторе, необходима для расчета количества поступающего в цилиндр двигателя воздуха.

В основе работы датчика лежит тензорезистивный эффект: изменение сопротивления проводника в результате его деформации.

Устройство датчика приведено на рис. 10. В корпусе датчика располагается чувствительный элемент – мембрана, изготовленная из кремниевой пластины, методом ионной имплантации на мембране выполнены четыре тензорезистора, образующие электрическую мостовую схему (рис. 11). С одной стороны мембраны находится полость, из которой откачан воздух, с противоположной стороны мембраны находится полость, сообщающаяся с выпускным коллектором.

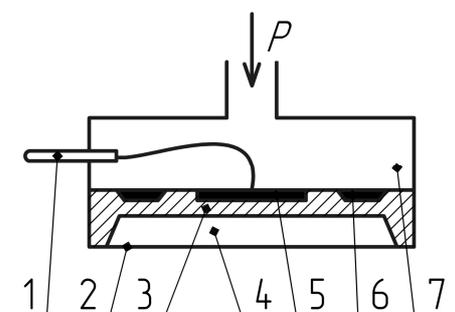


Рис. 10. Устройство датчика абсолютного давления:
1 – электрический контакт; 2 – корпус датчика; 3 – мембрана с интегрированными тензоэлементами и схемой обработки;
4 – вакуумированный объем; 5 – схема обработки;
6 – тензоэлемент; 7 – рабочий объем

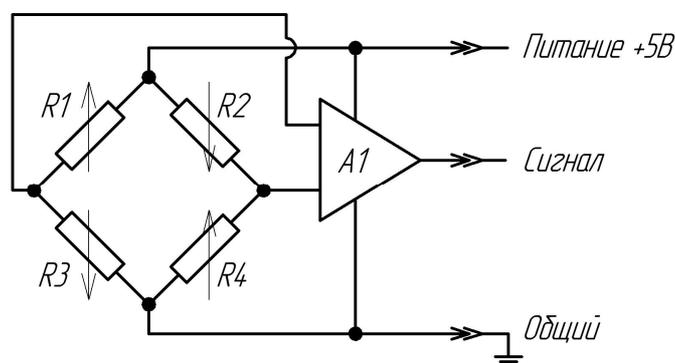


Рис. 11. Электрическая схема датчика абсолютного давления:
 $R1, R2, R3, R4$ – тензорезисторы; $A1$ – усилитель

К одной из диагоналей электрического моста подключен источник внешнего питания. При изменении давления, действующего на мембрану, она деформируется, вместе с ней деформируются тензорезисторы, при этом их сопротивление изменяется. Происходит разбалансировка моста, в измерительной диагонали моста появляется напряжение, которое усиливается встроенной электронной схемой.

Для работы датчика абсолютного давления требуется внешний источник постоянного тока, в данном случае питание на датчик поступает из ЭБУ, напряжение питания составляет 5 В. Напряжение на сигнальном выводе датчика абсолютного давления пропорционально давлению воздуха во впускном коллекторе (рис. 12).

Датчик абсолютного давления во впускном коллекторе имеет трёхпроводную схему соединения с блоком управления, один из проводников является питающим, второй – сигнальным и третий – общим («масса») (см. рис. П.1.2). Условное графическое обозначение датчика абсолютного давления представлено на рис. 13.

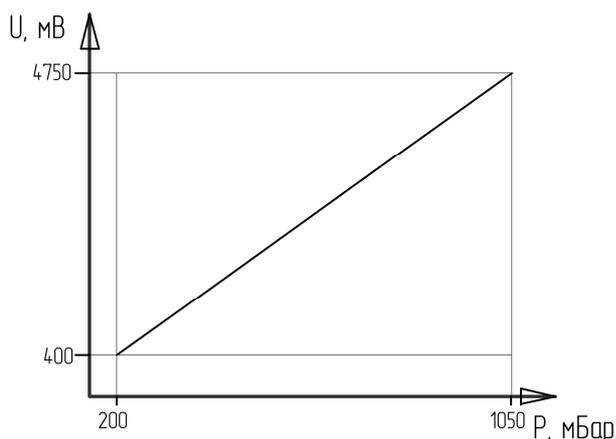


Рис. 12. Градуировочная характеристика датчика абсолютного давления

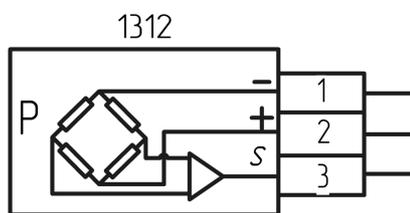


Рис. 13. Условное графическое обозначение датчика абсолютного давления:

1 – общий вывод («масса»); 2 – питание +5 В;
3 – сигнальный проводник

1.2.4. Датчики температуры

Для корректирования параметров топливоподачи и угла опережения зажигания необходима информация о температуре охлаждающей жидкости и температуре воздуха во впускном коллекторе, данная информация поступает с соответствующих датчиков температуры.

Датчик температуры охлаждающей жидкости двигателя устанавливается в её потоке и, как правило, на отводящем патрубке рубашки охлаждения на головке блока цилиндров.

Датчик температуры воздуха устанавливается в потоке воздуха, поступающего в цилиндры двигателя между воздушным фильтром и блоком моторизированной дроссельной заслонки.

Датчики температуры охлаждающей жидкости и поступающего воздуха выполнены на базе полупроводниковых терморезисторов (термисторов) с отрицательным температурным коэффициентом (NTC), т.е. электрическое сопротивление терморезистора уменьшается с увеличением его температуры.

Конструкция датчика температуры охлаждающей жидкости показана на рис. 14.

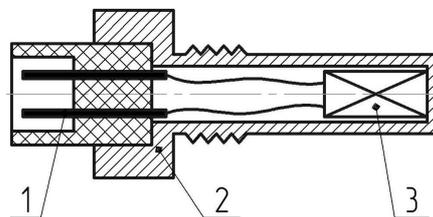


Рис. 14. Устройство датчика температуры охлаждающей жидкости:

- 1 – электрический контакт;
- 2 – корпус;
- 3 – полупроводниковый терморезистор

В корпусе датчика монтируется полупроводниковый терморезистор (термистор). Датчик температуры поступающего воздуха имеет практически аналогичную конструкцию. При низкой температуре термистор имеет высокое сопротивление, а при высокой температуре – низкое. Градуировочные характеристики датчиков температуры охлаждающей жидкости и поступающего воздуха показаны на рис. 15, а, б.

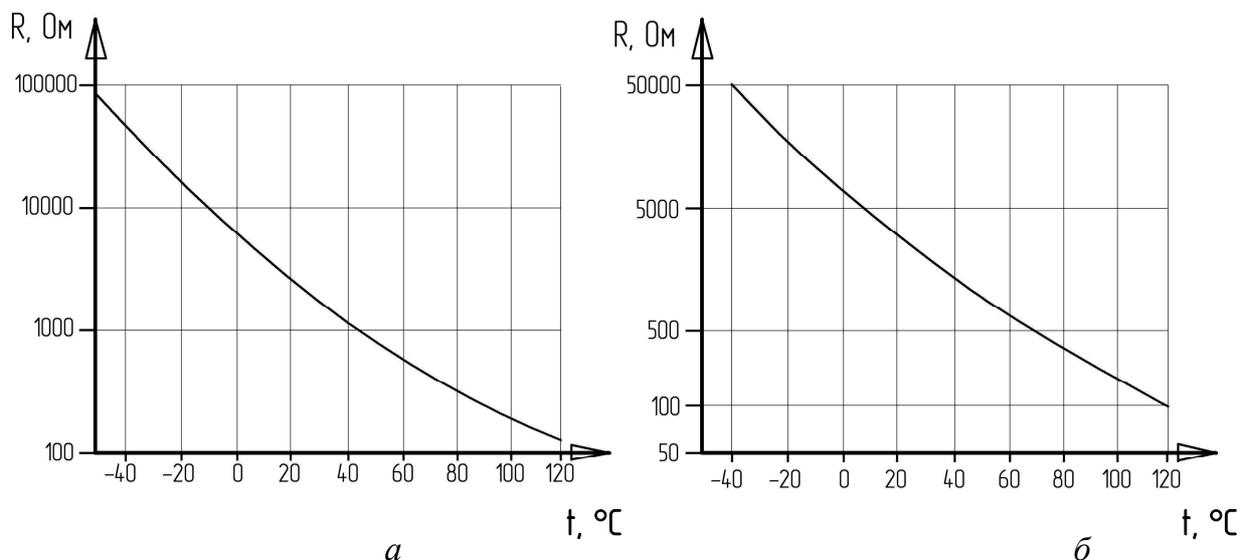


Рис. 15. Градуировочные характеристики датчиков температуры:
 a – охлаждающей жидкости; b – поступающего воздуха

Датчики температуры имеют двухпроводную схему подключения к блоку управления (рис. 16).

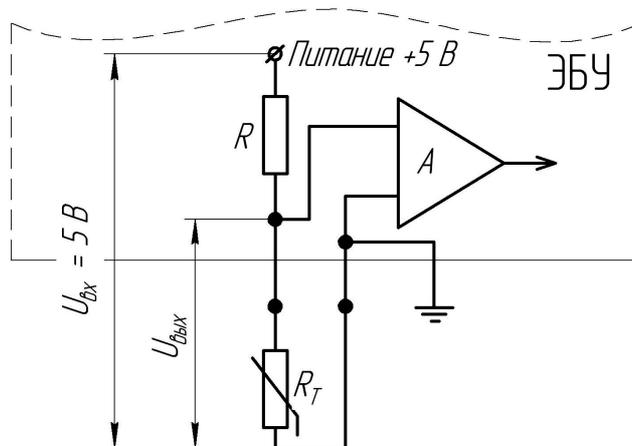


Рис. 16. Электрическая схема подключения датчиков температуры:
 R – постоянное сопротивление; R_T – термистор датчика температуры;
 A – схема обработки сигнала ЭБУ

Термистор подключен последовательно к постоянному сопротивлению, которое находится в ЭБУ. К свободному выводу постоянного сопротивления подводится питание с напряжением 5 В. В свою очередь, свободный вывод термистора подключен к «массе» ЭБУ.

Напряжение в точке подключения терморезистора к резистору в блоке управления (падение напряжения на термисторе) зависит от соотношения сопротивлений резистора и термистора. При

увеличении температуры контролируемой среды напряжение уменьшается и наоборот. Напряжение поступает на аналогово-цифровой преобразователь блока управления и является мерой температуры среды, в которую помещен датчик.

На электрической схеме ЭСУД датчики температуры обозначены А2, Е4 на рис. П.1.2 и представлены на рис. 17, а, б.



Рис. 17. Условное графическое обозначение датчиков:
а – температуры воздуха; б – охлаждающей жидкости

1.2.5. Датчики положения педали акселератора, положения дроссельной заслонки

На педали акселератора расположен потенциометрический датчик, с выхода которого в электронный блок управления поступает информация о её положении. На основании информации о положении педали акселератора, учитывая информацию, поступающую от других датчиков, блоком управления определяется требуемое положение дроссельной заслонки в данный момент времени, подается соответствующий управляющий сигнал на привод дроссельной заслонки, расположенный в модуле управления для её поворота. В модуле управления дроссельной заслонкой располагается потенциометрический датчик, с выхода которого в блок управления поступает информация о текущем положении дроссельной заслонки, т.е. обеспечивается постоянная обратная связь – контроль положения заслонки (рис. 18).

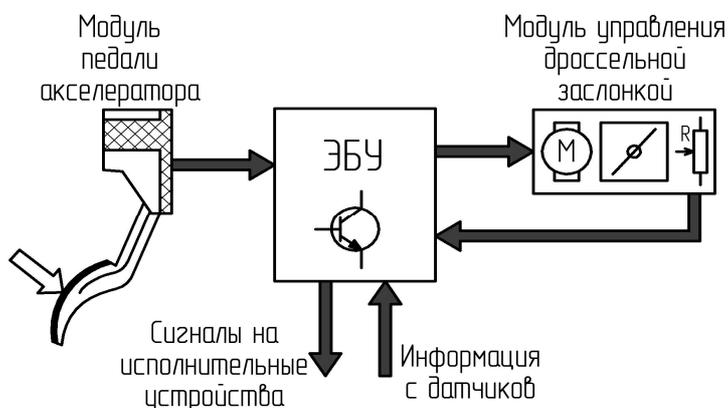


Рис. 18. Принцип действия системы «E-gas»

К достоверности показателей сигналов датчиков положения педали акселератора и дроссельной заслонки предъявляются очень жесткие требования, поэтому в конструкциях данных датчиков применяют сдвоенные потенциометры. Используется метод повышения надёжности технических устройств – горячее (нагруженное) резервирование.

Датчик положения педали акселератора расположен в модуле педали, расположение и устройство датчика показаны на рис. 19.

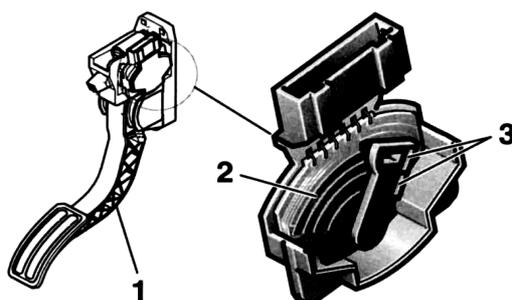


Рис. 19. Расположение и устройство датчика положения педали акселератора:
1 – педаль акселератора; 2 – резистивные дорожки;
3 – подвижные контакты

С осью рычага педали акселератора связан движок сдвоенного потенциометра с подвижными контактами – токосъемниками. Подвижные контакты соприкасаются с резистивными дорожками. При изменении положения педали акселератора, меняется положение движка, подвижные контакты скользят по поверхности резистивной дорожки, соответственно меняется электрическое сопротивление между подвижными контактами (средними выводами) и крайними выводами потенциометров.

Датчик положения педали акселератора в данном случае имеет четырёхпроводную схему подключения к блоку управления, электрическая схема подключения датчика представлена на рис. 20.

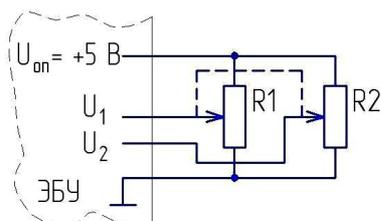


Рис. 20. Электрическая схема подключения датчика положения педали акселератора к блоку управления:
 $R1, R2$ – потенциометры датчика;
 U_1, U_2 – напряжения на сигнальных выводах датчика

Один из крайних выводов каждого потенциометра подключается к массе блока управления, другой крайний вывод соединяется с источником опорного напряжения $U = +5$ В. При изменении положения движка, меняется напряжение на средних выводах потенциометров U_1 и U_2 . Сигналы со средних выводов сдвоенного потенциометра, несущие информацию о положении педали акселератора, поступают в блок управления.

Датчик положения дроссельной заслонки расположен в модуле управления дроссельной заслонкой. Устройство модуля управления дроссельной заслонкой представлено на рис. 21.

Устройство датчика положения дроссельной заслонки аналогично устройству датчику положения педали акселератора, за исключением схемы подключения потенциометров к блоку управления (см. рис. 20, 21).

Датчик положения дроссельной заслонки в данном случае имеет четырёхпроводную схему подключения к блоку управления, электрическая схема подключения датчика представлена на рис. 22.

Один из крайних выводов каждого потенциометра подключается к «массе» блока управления, другой крайний вывод соединяется с источником опорного напряжения $U = +5$ В. При изменении положения движка, меняется напряжение на средних выводах потенциометров U_1 и U_2 . Сигналы со средних выводов сдвоенного потенциометра, несущие информацию о положении педали акселератора, поступают в ЭБУ.

Рис. 21. Устройство модуля управления дроссельной заслонкой:

- 1 – корпус дроссельной заслонки;
- 2 – привод дроссельной заслонки;
- 3 – крышка корпуса;
- 4 – дроссельная заслонка;
- 5 – скользящие контакты датчика положения;
- 6 – шестерня привода с пружинным возвратом;
- 7 – резистивные дорожки датчика положения

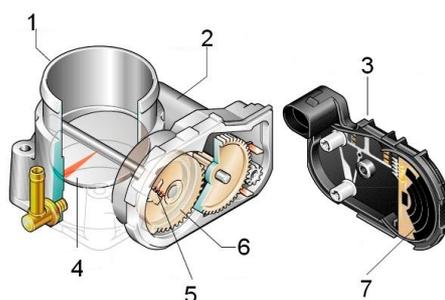
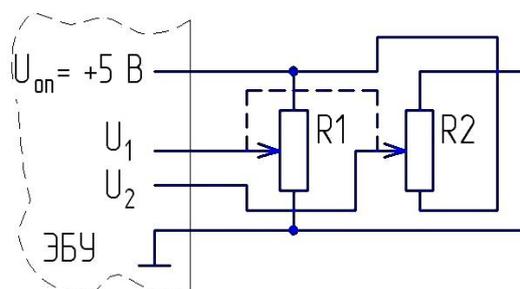


Рис. 22. Электрическая схема подключения датчика положения дроссельной заслонки к блоку управления:
 $R1, R2$ – потенциометры датчика



Значения напряжений U_1 и U_2 прямопропорциональны величине отклонения педали акселератора относительно нейтрального положения (рис. 23, а). При любом положении педали акселератора постоянно соотношение напряжений U_1 / U_2 и равно двум.

Значение напряжения U_1 прямопропорционально, а значение напряжения U_2 обратнопропорционально величине отклонения дроссельной заслонки (рис. 23, б). При любом положении дроссельной заслонки справедливо выражение $U_1 + U_2 = 5$ В.

Условное графическое обозначение датчиков положения педали акселератора и положения дроссельной заслонки представлены на рис. 24, 25.

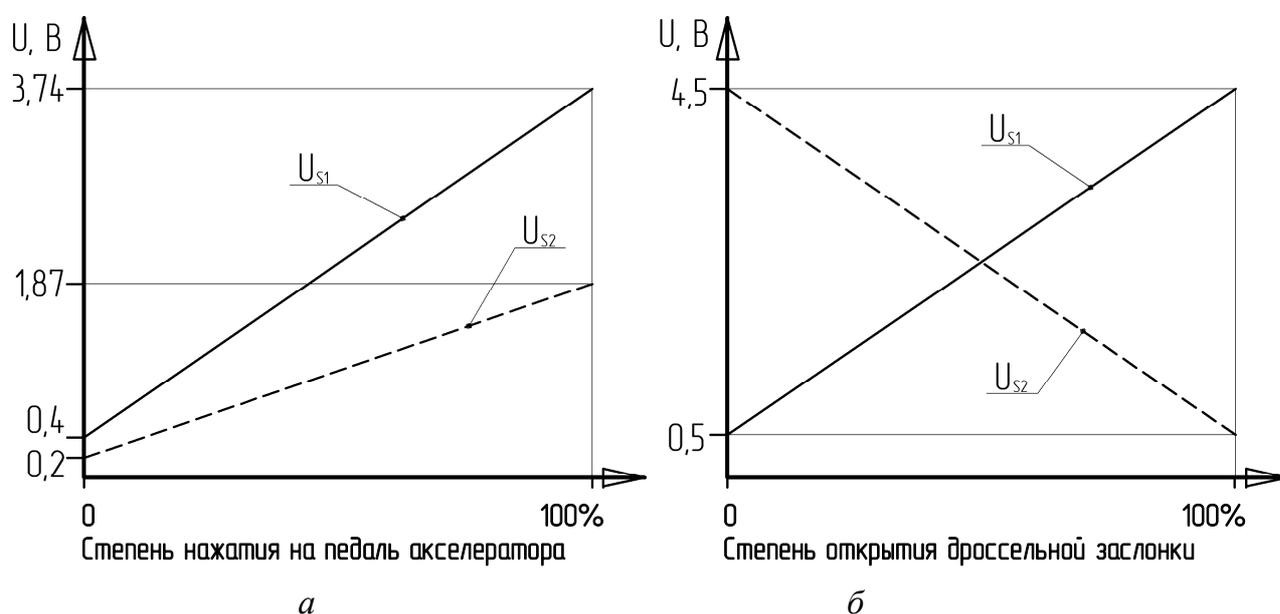


Рис. 23. Градуировочные характеристики датчиков:

а – положения педали акселератора; б – положения дроссельной заслонки

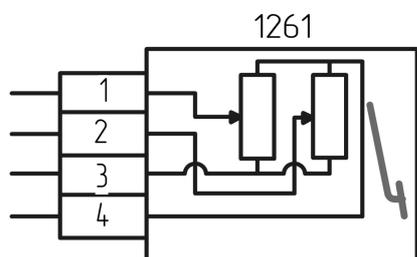


Рис. 24. Условное графическое обозначение датчика положения педали акселератора:

1, 2 – сигнальные выходы датчика;
3 – питание +5 В; 4 – общий вывод («масса»)

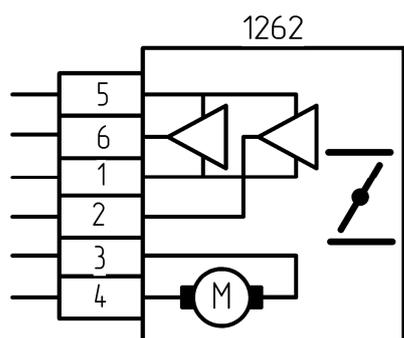


Рис. 25. Условное графическое обозначение модуля управления дроссельной заслонкой:

1 – питание +5 В; 2, 6 – сигнальные выходы датчика; 3, 4 – управление электродвигателем привода; 5 – общий вывод («масса»)

1.2.6. Датчик детонации

Датчик детонации служит для выявления наличия детонационного сгорания при работе двигателя. Принцип действия датчика детонации основан на пьезоэффекте. В данной системе управления применяется датчик детонации широкополосного типа, который установлен на блоке цилиндров двигателя. Он воспринимает вибрации, идущие от стенок блока цилиндров. Устройство датчика детонации представлено на рис. 26.

Чувствительным элементом датчика детонации является кварцевый пьезоэлемент, который при работе двигателя воспринимает возникающую

вибрацию через инерционную массу датчика. В результате на его обкладках, за счет пьезоэффекта, появляется электрический сигнал колебаний напряжения. Чем больше амплитуда и частота колебаний блока цилиндров, тем выше напряжение. При детонационном сгорании топливовоздушной смеси амплитуда вибраций блока цилиндров двигателя увеличивается, что вызывает увеличение амплитуды напряжения электрического сигнала датчика (рис. 27).

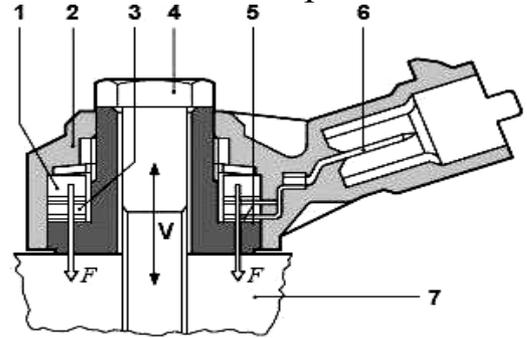
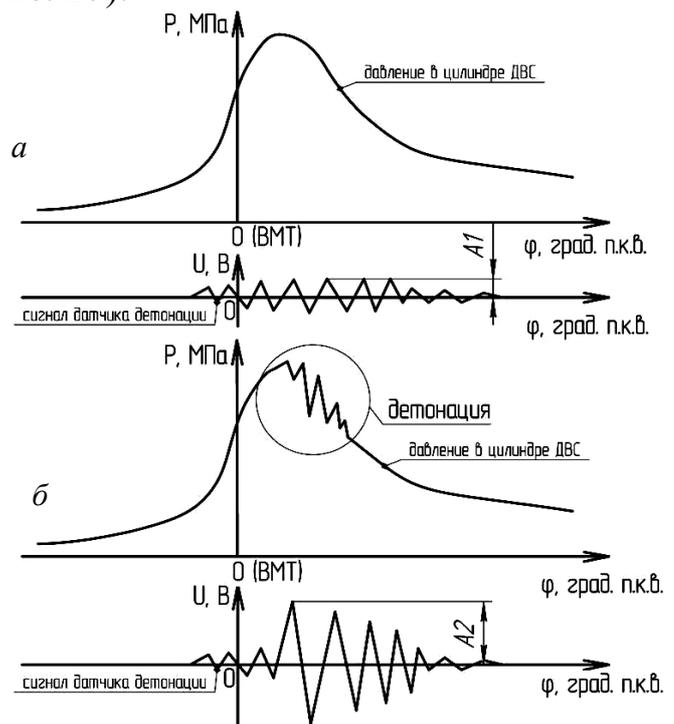


Рис. 26. Устройство датчика детонации: 1 – сейсмическая «масса» (шайба); 2 – корпус; 3 – пьезокерамический элемент; 4 – болт крепления; 5 – втулка; 6 – вилка; V – колебания; F – сила инерции

Рис. 27. Работа датчика детонации:
а – детонация отсутствует;
б – детонационное сгорание;
A1, *A2* – амплитуды сигналов датчика детонации соответственно в случае отсутствия, наличия детонации



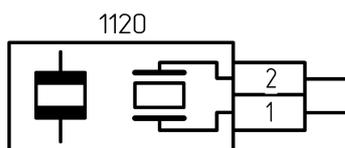


Рис. 28. Условное графическое изображение датчика детонации

Условное графическое изображение датчика детонации представлено на рис. 28 и рис. П.1.2.

1.2.7. Датчики кислорода

На современном автомобиле проблемы нейтрализации токсичных веществ в выхлопных отработавших газах решаются применением специальных нейтрализаторов. Эти устройства наиболее эффективно работают совместно с системой впрыска бензина, которая оснащена датчиками концентрации кислорода в выпускном тракте двигателя. В данной системе управления применяются два одинаковых датчика кислорода бинарного типа на основе диоксида циркония: первый – регулировочный, установлен в выпускном тракте до каталитического нейтрализатора; второй – диагностический, установлен после нейтрализатора (рис. 29).

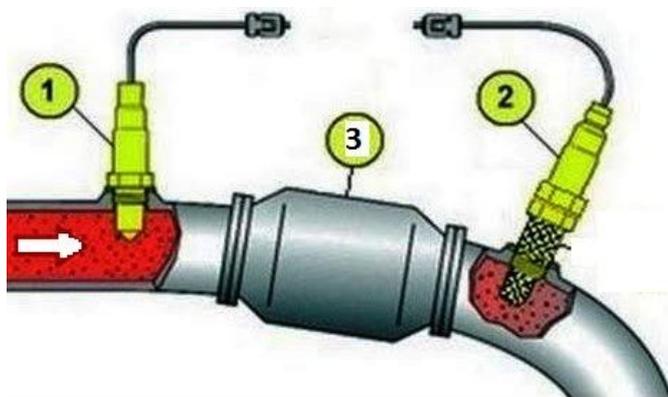


Рис. 29. Расположение датчиков кислорода в выпускном тракте двигателя:
1,2 – соответственно регулировочный и диагностический датчики кислорода; 3 – каталитический нейтрализатор

Датчик кислорода предназначен для определения концентрации кислорода в отработавших газах. Применение датчика кислорода позволяет управлять топливоподачей по замкнутому контуру с обратной связью с целью поддержания стехиометрического состава смеси, при которой наиболее эффективно работает каталитический нейтрализатор.

Регулирующий датчик кислорода вырабатывает сигнал обратной связи для электронного блока управления впрыском, который корректирует состав топливовоздушной смеси в зависимости от концентрации кислорода в отработавших газах. Корректировка реализуется изменением продолжительности впрыска бензина форсунками.

Диагностический датчик кислорода вырабатывает сигнал, который используется для оценки эффективности работы каталитического нейтрализатора.

Конструкция датчика кислорода в целом показана на рис. 30, конструкция чувствительного элемента приведена на рис. 31.

Датчик кислорода представляет собой гальванический элемент с твердым электролитом. Данный датчик имеет два электрода: внешний и внутренний. Оба электрода выполнены из пористой платины или ее сплава и разделены слоем твердого электролита, в качестве которого применяется диоксид циркония ZrO_2 с добавлением оксида иттрия Y_2O_3 для повышения ионной проводимости электролита. Внешний электрод омывается потоком отработавших газов в выпускной системе двигателя с переменным парциальным давлением кислорода. Среда, контактирующая с внутренним электродом, имеет постоянное парциальное давление кислорода.

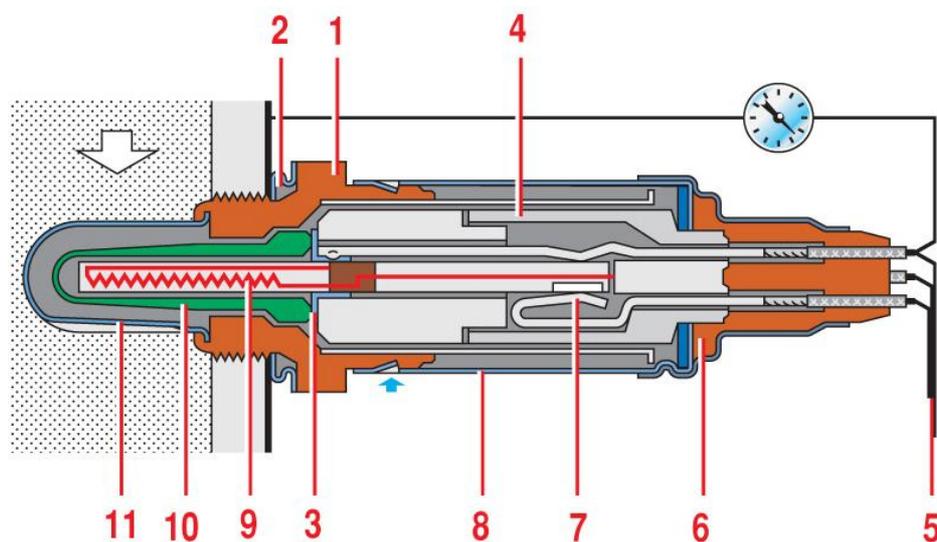


Рис. 30. Конструкция датчика кислорода:

1 – металлический корпус с шестигранником под ключ; 2 – уплотнительное кольцо; 3 – токосъемник; 4 – керамический изолятор; 5 – соединительные провода; 6 – уплотнительная манжета; 7 – токоподводящий контакт провода питания нагревателя; 8 – наружный защитный экран с отверстием для атмосферного воздуха; 9 – нагревательный элемент; 10 – чувствительный элемент; 11 – защитный экран с отверстием для отработавших газов

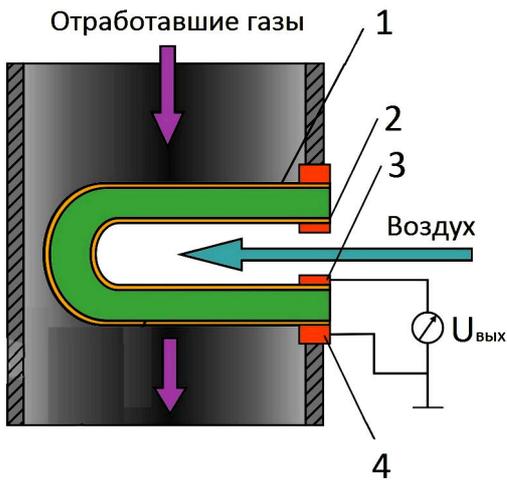


Рис. 31. Конструкция чувствительного элемента датчика кислорода:

- 1 – наружный электрод;
- 2 – внутренний электрод;
- 3, 4 – сигнальные контакты

При нагреве до определенной температуры (более 350 °С) диоксид циркония приобретает свойства электролита, и между электродами датчика вследствие движения ионов в твердом электролите возникает разность потенциалов, обусловленная разностью парциальных давлений кислорода внутри датчика и в отработавших газах.

При низком уровне парциального давления кислорода в отработавших газах, когда двигатель работает на обогащенной смеси ($\lambda < 1$), датчик как гальванический элемент, генерирует высокое напряжение (700 – 1000 мВ) (рис. 32). При переходе на обедненную смесь ($\lambda > 1$) парциальное давление кислорода в отработавших газах значительно увеличивается, что приводит к резкому падению напряжения на выходе датчика до 50–100 мВ (см. рис. 32). Такое резкое падение напряжения на выходе датчика при переходе от обогащенной к обедненной смесям позволяет с высокой точностью определять стехиометрический состав смеси.

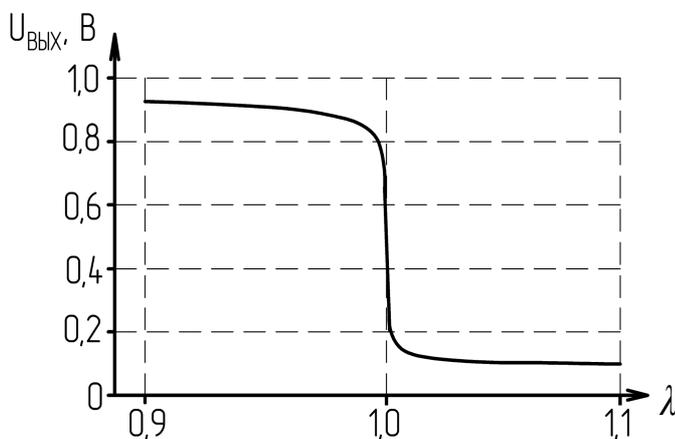


Рис. 32. Зависимость выходного напряжения бинарного циркониевого датчика кислорода от коэффициента избытка воздуха рабочей смеси (характеристическая кривая напряжения для рабочей температуры 600 °С)

Выходное напряжение датчика кислорода зависит от температуры, средняя рабочая температура 600°C . Для поддержания необходимой температуры в конструкцию датчика кислорода интегрирован электрический нагревательный элемент. В процессе работы ЭБУ регулирует мощность нагревательного элемента с целью поддержания необходимой температуры чувствительного элемента.

От ЭБУ к сигнальному выводу датчика кислорода подводится постоянное опорное напряжение $U_{on} = 450\text{ мВ}$. Если датчик не прогрет, то на его сигнальном выводе будет присутствовать только опорное напряжение. По мере прогрева датчика его внутреннее сопротивление уменьшается, и он начинает генерировать напряжение, величина которого зависит от состава топливоздушнoй смеси. Генерируемое напряжение перекрывает опорное. Изменение напряжения в цепи регулировочного датчика кислорода ЭБУ воспринимает как сигнал о возможности перехода на режим управления топливоподачей по замкнутому контуру.

При работе ЭСУД в режиме замкнутого контура выходное напряжение регулировочного датчика кислорода периодически изменяется между низким и высоким уровнями (рис. 33). Частота колебаний выходного напряжения датчика находится в диапазоне 0,5–4 Гц. При этом в случае нормальной работы каталитического нейтрализатора выходное напряжение диагностического датчика практически находится на постоянном уровне (см. рис. 33).

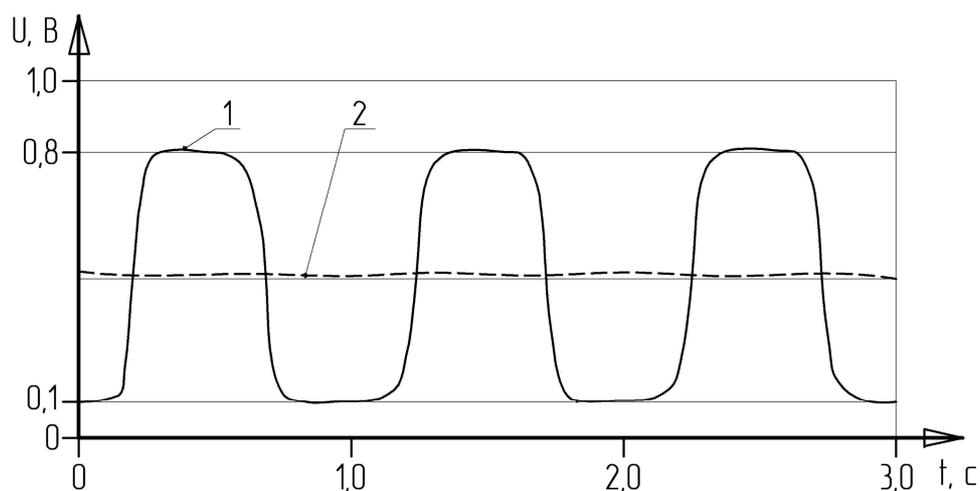


Рис. 33. Сигналы регулировочного датчика:
1 – диагностического; 2 – датчика кислорода

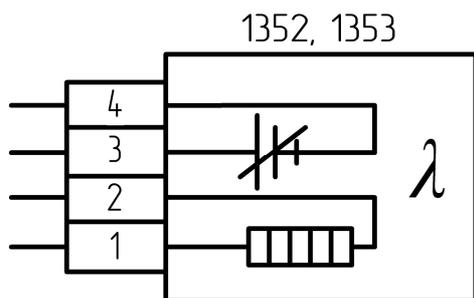


Рис. 34. Условное графическое изображение датчика кислорода:

1, 2 – выходы нагревательного элемента;
3, 4 – выходы чувствительного элемента

Условное графическое изображение датчика кислорода представлено на рис. 34 и на схеме рис. П.1.2.

1.2.8. Общие рекомендации по выявлению неисправностей датчиков, входящих в состав ЭСУД

Среди чувствительных элементов различают датчики, требующие и не требующие дополнительного электропитания.

Датчики, для работы которых необходимо дополнительное электропитание, имеют двух-, трех- или четырёхпроводную схему подключения к ЭСУД (датчик положения распределительного вала на основе эффекта Холла (фазы); датчик абсолютного давления во впускном коллекторе; датчики температуры охлаждающей жидкости и поступающего воздуха; датчики положения педали акселератора, дроссельной заслонки).

Датчики, не требующие дополнительного электропитания, имеют двухпроводную схему подключения чувствительных элементов к ЭСУД (датчик частоты вращения коленчатого вала, датчик детонации, датчики концентрации кислорода в отработавших газах). Следует отметить, что для нормальной работы датчиков кислорода на основе ZrO_2 , чувствительные элементы, которые имеют двухпроводное соединение с ЭБУ и не требуют дополнительного питания, электропитание необходимо подводить к встроенным в эти датчики нагревательным элементам, для чего предусмотрены дополнительные проводники в соединительном кабеле.

Проверка датчиков, не требующих электропитания, проводится при отсутствии сигнала с датчика на контактах соединительного разъема ЭСУД. Сначала необходимо проверить наличие сигнала непосредственно на контактах разъема датчика. Если в этом случае сигнал обнаружен, то, вероятнее всего, имеется повреждение соединительного кабеля – обрыв. Отсутствие сигнала или пониженная амплитуда (искаженная форма) сигнала на контактах разъема датчика указывает на неисправность датчика либо на

короткое замыкание сигнального проводника на «массу». Для локализации неисправности необходимо произвести дополнительные проверки. Необходимо отключить от датчика соединительный кабель и проконтролировать электрическое сопротивление между проводниками данного кабеля и «массой», если измеренное сопротивление незначительно, то это указывает на короткое замыкание, в противном случае необходимо произвести замену датчика. Если проверяется индуктивный датчик частоты вращения коленчатого вала, то дополнительно следует проконтролировать величину зазора между датчиком и задающим диском.

Проверка датчиков, требующих электропитания. У датчиков, имеющих двухпроводное соединение, необходимо в первую очередь проконтролировать напряжение на сигнальном выводе. Данное напряжение должно находиться в определенном диапазоне, как правило, 0,2–4,8 В. Напряжение на сигнальном выводе, равное 0 или 5 В, указывает на неисправность. При проверке датчиков температуры охлаждающей жидкости и воздуха необходимо оценивать соответствие значения напряжения на сигнальном выводе и температуры контролируемой среды.

Если на контакте разъема ЭБУ, к которому подключен сигнальный проводник от датчика, присутствует 0 В, то это указывает на короткое замыкание в проводниках, идущих от датчика, в самом датчике либо на неисправность ЭБУ. Необходимо отключить от датчика соединительный кабель и измерить напряжение на соответствующем контакте разъема кабеля. Если значение напряжения 5 В, то это указывает на неисправность датчика, его необходимо заменить. Если значение напряжения 0 В, то необходимо проверить соединительный кабель на наличие короткого замыкания на «массу». Если замыкание на массу в соединительном кабеле не обнаружено, то необходимо проверить наличие опорного напряжения 5 В на соответствующих контактах разъема ЭБУ. В случае необходимости произвести замену ЭБУ.

Если на контакте разъема ЭБУ, которому подключен сигнальный проводник от датчика, присутствует 5 В, то это указывает на наличие обрыва в цепи датчика. В этом случае необходимо проверить отсутствие повреждений (обрывов) в соединительном кабеле. Если повреждения в кабеле не обнаружены, то это указывает на неисправность датчика.

При проверке датчиков, имеющих трехпроводное соединение, необходимо проконтролировать наличие сигнала с датчика на

соответствующем контакте соединительного разъема ЭБУ. Напряжение на сигнальных выводах таких датчиков, как правило, находится в диапазоне 0,2–4,8 В. Напряжение на сигнальном выводе равное 0 или 5 В, указывает на неисправность.

Если сигнал на соответствующем контакте соединительного разъема ЭБУ отсутствует, то проверяется наличие сигнала на контакте разъема датчика. Наличие сигнала в этом случае указывает на повреждение сигнального проводника соединительного кабеля. Если сигнал отсутствует и на контакте разъема датчика, то необходимо проверить наличие необходимого напряжения питания на соответствующем контакте разъема датчика. Если питающее напряжение в данном случае отсутствует, то проверить следует целостность питающего проводника соединительного кабеля, при отсутствии обрыва проводник проверяют на наличие короткого замыкания на «массу». В случае отсутствия повреждений питающего проводника соединительного кабеля, нужно проверить ЭБУ. Если необходимое напряжение присутствует на контакте разъема датчика, то проверке на наличие короткого замыкания с массой подлежит сигнальный проводник кабеля. В случае, когда сигнальный проводник не поврежден, необходимо произвести замену датчика.

Если на сигнальном контакте соединительного разъема ЭБУ присутствует напряжение 5 В, то в первую очередь проверяется целостность – отсутствие обрыва массового проводника соединительного кабеля. Если он не поврежден, вероятнее всего, вышел из строя датчик и его необходимо заменить.

При проверке датчиков пристальное внимание нужно обращать на форму и амплитуду сигналов.

1.3. Практическая часть. Исследование характеристик датчиков ЭСУД BOSCH ME 7.4.4.

1.3.1. Техническое оснащение

При исследовании характеристик датчиков ЭСУД BOSCH ME 7.4.4. используется следующее техническое оснащение:

- 1) учебный макет, моделирующий работу электронной системы управления бензинового двигателя, «Exhotest» МТ Е-5000;
- 2) учебный диагностический прибор «Exhotest» МТ Е-5000;
- 3) мультиметр DT-830;
- 4) датчики электронной системы управления бензинового двигателя.

1.3.2. Исследование характеристик индуктивного датчика положения коленчатого вала

Порядок исследования.

1. Вилку EOBД II измерительного прибора CL-550 (прил. 2) необходимо подключить к соответствующему разъему стенда МТ Е-5000 (прил. 1), измерительные щупы необходимо подключить к контактам датчика положения коленчатого вала на панели измерений и внесения неисправностей.

2. Ключ в замке зажигания стенда повернуть в положение, соответствующее пуску двигателя.

3. Переключить измерительный прибор CL-550 в режим осциллографа, и при необходимости произвести его подстройку (см. прил. 2).

4. Вращением рукоятки потенциометра положения педали акселератора на панели управления стенда МТ Е-5000 (прил. 1) изменять частоту вращения коленчатого вала n в диапазоне от минимального до максимального с шагом в $\Delta n = 500 \text{ мин}^{-1}$, при этом для каждой из выбранных частот необходимо измерить период T и амплитуду $A_{\text{нкв}}$ сигнала датчика положения коленчатого вала (рис. 35).

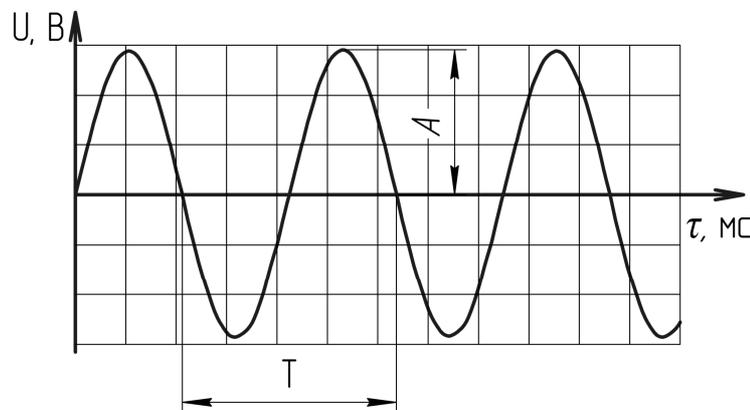


Рис. 35. Измерение периода и амплитуды сигнала датчика положения коленчатого вала:
 A – амплитуда; T – период

5. Используя измеренные значения периода рассчитать частоту сигнала по формуле

$$\nu = \frac{1000}{T}, \quad (1)$$

где ν – частота сигнала, Гц;

T – период сигнала, мс.

6. Измеренные и расчетные значения параметров сигнала датчика положения коленчатого вала занести в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений и расчетов параметров сигнала датчика положения коленчатого вала

Частота вращения коленчатого вала двигателя n , мин ⁻¹	Амплитуда сигнала $A_{нкв}$, В	Период сигнала T , мс	Частота сигнала ν , Гц

7. Построить графические зависимости амплитуды $A_{нкв}$ и частоты сигнала ν датчика от частоты вращения коленчатого вала n [$A_{нкв} = f(n)$; $\nu = f(n)$].

8. При помощи мультиметра измерить активное электрическое сопротивление обмотки датчика R_{∂} , сравнить полученное значение с паспортным.

1.3.3. Исследование характеристик датчика фазы

Порядок исследования.

1. Подключить измерительный щуп прибора CL-550 к сигнальному контакту датчика фазы на панели измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1).

2. Переключить измерительный прибор CL-550 в режим осциллоскопа и при необходимости произвести его подстройку (см. прил. 2).

3. Вращением рукоятки потенциометра положения педали акселератора на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) изменять частоту вращения коленчатого вала n в диапазоне от минимального до максимального с шагом в $\Delta n = 500$ мин⁻¹, при этом для каждой из выбранных частот необходимо измерить период T и амплитуду A_{ϕ} сигнала датчика фазы.

4. Используя измеренные значения периода, рассчитать частоту сигнала ν по формуле (1).

5. Измеренные и расчетные значения параметров сигнала датчика фазы занести в табл. 2.

Результаты измерений и расчетов параметров сигнала датчика фазы

Частота вращения коленчатого вала двигателя n , мин ⁻¹	Амплитуда сигнала A_ϕ , В	Период сигнала T , мс	Частота сигнала ν , Гц

6. Построить графические зависимости амплитуды A_ϕ и частоты сигнала ν датчика от частоты вращения коленчатого вала n [$A_\phi = f(n)$; $\nu = f(n)$].

7. Переключить измерительный прибор CL-550 в режим вольтметра (см. прил. 2).

8. Подключить измерительный щуп прибора CL-550 к контакту питания датчика фазы на панели измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1).

9. Измерить значение напряжения питания датчика фазы $U_{n\phi}$.

1.3.4. Исследование характеристик датчиков температуры охлаждающей жидкости и воздуха

Порядок исследования.

1. Подключить измерительные щупы прибора CL-550 к сигнальным контактам датчиков температуры охлаждающей жидкости и поступающего воздуха на панели измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1);

2. Переключить измерительный прибор CL-550 в режим двухканального вольтметра (см. прил. 2);

3. Последовательным вращением рукояток потенциометров регулировки температуры охлаждающей жидкости $t_{ож}$ и поступающего воздуха $t_{возд}$ на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) изменять значения температур в диапазоне от минимального до максимального с шагом в $\Delta t = 10$ °С, при этом для каждого из выбранных значений температур необходимо измерить значения напряжения на сигнальных выводах датчиков $U_{ож}$, $U_{возд}$.

4. Измеренные значения напряжения на сигнальных выводах датчиков температуры охлаждающей жидкости $U_{ож}$ и поступающего воздуха $U_{возд}$ занести в табл. 3.

Результаты измерений параметров сигналов датчиков температуры охлаждающей жидкости и поступающего воздуха

Температура охлаждающей жидкости $t_{ож}$, °С	Напряжение на сигнальном выводе датчика $U_{ож}$, В	Температура поступающего воздуха $t_{возд}$, °С	Напряжение на сигнальном выводе датчика $U_{возд}$, В

5. Построить графические зависимости напряжения на сигнальных выводах датчиков температуры охлаждающей жидкости $U_{ож}$ и поступающего воздуха $U_{возд}$ соответственно от температуры охлаждающей жидкости $t_{ож}$ и поступающего воздуха $t_{возд}$ [$U_{ож} = f(t_{ож})$; $U_{возд} = f(t_{возд})$].

6. При помощи мультиметра измерить активные электрические сопротивления датчиков температуры $R_{ож}$, $R_{возд}$.

1.3.5. Исследование характеристики датчика абсолютного давления

Порядок исследования.

1. Подключить измерительный щуп прибора CL-550 к сигнальному контакту датчика абсолютного давления во впускном коллекторе на панели измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1).

2. Переключить измерительный прибор CL-550 в режим вольтметра (см. прил. 2).

3. Вращением рукоятки потенциометра регулировки давления во впускном коллекторе на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) изменять значение давления $P_{абс}$ в диапазоне от минимального до максимального с шагом в $\Delta P = 100$ мБар, при этом для каждого из выбранных значений давления необходимо измерить значение напряжения на сигнальном выводе датчика $U_{абс}$.

4. Измеренные значения напряжения на сигнальном выводе датчика абсолютного давления $U_{абс}$ занести в табл. 4.

Результаты измерений параметров сигнала датчика абсолютного давления

Абсолютное давление во впускном коллекторе $P_{абс}$, мБар	Напряжение на сигнальном выводе датчика $U_{абс}$, В

5. Построить графическую зависимость напряжения на сигнальном выводе датчика абсолютного давления $U_{абс}$ от давления во впускном коллекторе $P_{абс}$ [$U_{абс} = f(P_{абс})$].

6. Подключить измерительный щуп прибора CL-550 к контакту питания датчика абсолютного давления на панели измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1).

7. Измерить значение напряжения питания датчика абсолютного давления $U_{n абс}$.

1.3.6. Исследование характеристик датчиков положения педали акселератора и дроссельной заслонки

Порядок исследования.

1. Подключить измерительные щупы прибора CL-550 к сигнальным контактам датчика положения педали акселератора на панели измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1).

2. Переключить измерительный прибор CL-550 в режим двухканального вольтметра (см. прил. 2).

3. Вращением рукоятки потенциометра изменения положения педали акселератора на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) изменять положение педали H_n в диапазоне от минимального до максимального с шагом в $\Delta H_n = 10\%$, при этом для каждого из выбранных положений педали необходимо измерить значения напряжения на сигнальных выводах датчика U_{s1} , U_{s2} .

4. Измеренные значения напряжения на сигнальных выводах датчика положения педали акселератора U_{cn1} , U_{cn2} занести в табл. 5.

Результаты измерений параметров сигналов датчика положения педали акселератора

Положение педали акселератора H_n , %	Напряжение на сигнальном выводе №1 датчика U_{cn1} , В	Напряжение на сигнальном выводе №2 датчика U_{cn2} , В

5. Построить графические зависимости напряжения на сигнальных выводах датчика положения педали акселератора U_{s1} , U_{s2} от положения педали акселератора H_n [$U_{cn1} = f(H)$; $U_{cn2} = f(H)$].

6. Подключить измерительные щупы прибора CL-550 к сигнальным контактам датчика положения дроссельной заслонки на панели измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1).

7. Вращением рукоятки потенциометра изменения нагрузки на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) установить максимально возможное значение.

8. Вращением рукоятки потенциометра изменения положения педали акселератора на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) изменять положение педали от минимального $H_n = 0\%$ до максимального $H_n = 100\%$, при этом для каждого из выбранных положений педали необходимо измерить значения напряжения на сигнальных выводах датчика положения дроссельной заслонки U_{c31} , U_{c32} .

9. Измеренные значения напряжения на сигнальных выводах датчика положения дроссельной заслонки U_{c31} , U_{c32} занести в табл. 6.

Таблица 6

**Результаты измерений параметров сигналов датчика
положения дроссельной заслонки**

Положение педали акселератора H_n , %	Напряжение на сигнальном выводе №1 датчика U_{c31} , В	Напряжение на сигнальном выводе №2 датчика U_{c32} , В
0		
100		

10. Построить графические зависимости напряжения на сигнальных выводах датчика положения дроссельной заслонки U_{c31} , U_{c32} от положения педали акселератора H_n [$U_{c31} = f(H_n)$; $U_{c32} = f(H_n)$].

11. Подключить измерительные щупы прибора CL-550 к контактам питания датчиков положения педали акселератора и дроссельной заслонки на панели измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1).

12. Измерить значения напряжения питания датчиков положения педали акселератора $U_{n акс}$ и дроссельной заслонки $U_{n дз}$.

1.3.7. Исследование характеристики датчика детонации

Порядок исследования.

1. Подключить измерительный щуп прибора CL-550 к сигнальному контакту датчика детонации на панели измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1).
2. Вращением рукоятки потенциометра нагрузки на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) установить максимальное значение.
3. Вращением рукоятки потенциометра положения педали акселератора на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) установить частоту вращения коленчатого вала $n = 3000 - 4000 \text{ мин}^{-1}$.
4. Переключить измерительный прибор CL-550 в режим осциллографа и при необходимости произвести его подстройку (см. прил. 2).
5. Измерить амплитуду A_d сигнала датчика детонации.
6. При помощи переключателя имитации детонации активировать процесс детонации последовательно во всех цилиндрах двигателя, при этом необходимо измерить амплитуду A_d сигнала датчика детонации;
7. Измеренные значения параметров сигнала датчика детонации занести в табл. 7.

Таблица 7

Результаты измерений амплитуды сигнала датчика детонации

Режим горения топливовоздушной смеси в цилиндре ДВС	Амплитуда сигнала датчика A_d , В
Нормальное горение	
Детонационное сгорание	

1.3.8. Исследование характеристик датчиков кислорода

Порядок исследования.

1. Подключить измерительные щупы прибора CL-550 к сигнальным контактам датчиков кислорода на панели измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1).
2. Вращением рукояток соответствующих потенциометров на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) установить значения температуры охлаждающей жидкости $t_{ож} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$, температуры поступающего воздуха $t_{возд} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, минимальное значение нагрузки.

3. Переключить измерительный прибор CL-550 в режим осциллоскопа и при необходимости произвести его подстройку (см. прил. 2).

4. Вращением рукоятки потенциометра положения педали акселератора на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) изменять частоту вращения коленчатого вала n в диапазоне от минимального до максимального с шагом в $\Delta n = 1000 \text{ мин}^{-1}$, при этом для каждой из выбранных частот необходимо измерить минимальное U_{\min} и максимальное U_{\max} напряжение, период T колебаний напряжения регулировочного датчика кислорода, а также выходное напряжение диагностического датчика кислорода $U_{\text{диагн.}}$.

5. Измеренные значения параметров сигналов датчиков кислорода занести в табл. 8.

Таблица 8

Результаты измерений параметров сигналов датчиков кислорода

Частота вращения коленчатого вала двигателя n , мин^{-1}	Сигнал регулировочного датчика кислорода			Сигнал диагностического датчика кислорода
	Мин. напряжение U_{\min} , В	Макс. напряжение U_{\max} , В	Период T , с	Напряжение $U_{\text{диагн.}}$, В

Контрольные вопросы

1. Какие датчики входят в состав ЭСУД BOSCH ME 7.4.4. ?
2. Какую функцию выполняют датчики в составе электронной системы управления двигателем?
3. От каких параметров зависят амплитуда и частота сигнала индуктивного датчика положения коленчатого вала?
4. Для чего предназначена отметка синхронизации сигнала датчика положения коленчатого вала?
5. Для каких целей используется сигнал датчика фазы?
6. В чем заключается сущность эффекта Холла?
7. От чего зависит период сигнала датчика фазы?
8. Чем определяется число импульсов сигнала датчика фазы, приходящееся на один оборот распределительного вала?
9. Какое напряжение используется для питания датчика фазы?

10. Сколько проводников используется для подключения датчика фазы к ЭБУ?

11. Для чего необходима информация об абсолютном давлении во впускном коллекторе?

12. Какой физический эффект лежит в основе работы датчика абсолютного давления?

13. Для чего необходима информация о температуре охлаждающей жидкости, температуре поступающего воздуха?

14. Как зависит электрическое сопротивление термистора с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления от температуры?

15. Как изменится напряжение на сигнальном выводе датчика температуры охлаждающей жидкости, если температура возрастет и почему?

16. На каком физическом эффекте основан принцип действия датчика детонации?

17. С какой целью применяют сдвоенные потенциометры в датчиках положения педали акселератора и дроссельной заслонки?

18. Как изменяется напряжение на сигнальных выводах датчика положения педали акселератора при нажатии на педаль?

19. Как изменяется напряжение на сигнальных выводах датчика положения дроссельной заслонки при её открытии?

20. Для чего используются сигналы регулировочного и диагностического датчиков кислорода?

21. Какие материалы используются в качестве твердого электролита и электродов в датчиках кислорода?

22. От чего зависит величина напряжения, генерируемого чувствительным элементом датчика кислорода?

23. Каким образом поддерживается необходимая температура чувствительного элемента датчика кислорода при работе ДВС?

24. В каком диапазоне находится частота колебаний выходного напряжения регулировочного датчика кислорода?

2. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

2.1. Теоретические основы

ЭСУД BOSCH 7.4.4. управляет функциональными системами: топливоподачи; впуска воздуха; зажигания; охлаждения; улавливания паров бензина. В состав каждой из управляемых функциональных систем входят исполнительные элементы ЭСУД (табл. 9), которые осуществляют преобразование электрических команд ЭБУ в исполнительные воздействия.

Таблица 9

Исполнительные элементы функциональных систем

Функциональная система	Исполнительный элемент
Топливоподачи	Топливный насос с электроприводом Электромагнитные форсунки
Впуска воздуха	- электропривод дроссельной заслонки
Зажигания	- модуль зажигания
Охлаждения	- электровентилятор системы охлаждения
Улавливания паров бензина	- электромагнитный клапан продувки адсорбера

2.2. Устройство и принцип действия электрического топливного насоса

В системе топливоподачи применяется погружной роликовый насос с электроприводом, установленный в топливном баке. При этом он является элементом агрегата, который называется модулем подачи топлива. Этот модуль помимо насоса содержит также регулятор давления, демпфирующее устройство, фильтр, датчик уровня топлива в топливном баке, специальный бачок для создания резервного запаса топлива, электрические и гидравлические соединительные разъемы (рис. 36).

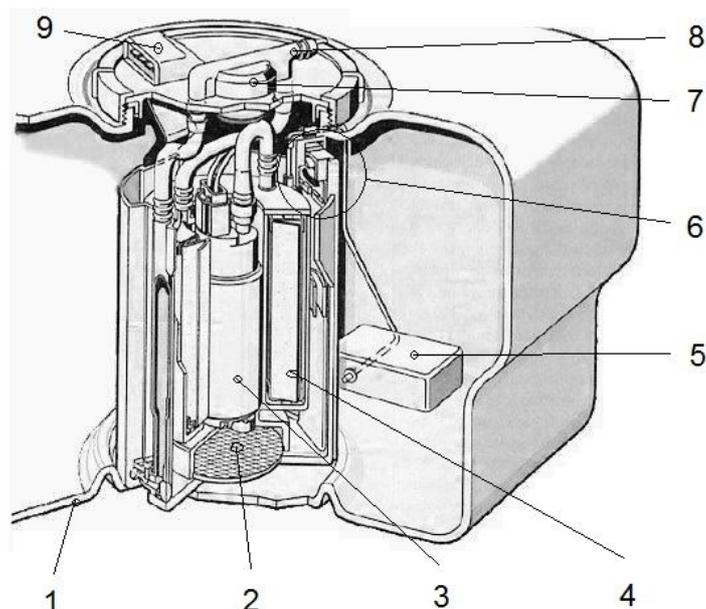


Рис. 36. Устройство модуля подачи топлива:

- 1 – топливный бак; 2 – фильтр предварительной очистки топлива;
- 3 – топливный электроприводной насос; 4 – фильтр тонкой очистки;
- 5 – поплавков датчика уровня топлива; 6 – датчик уровня топлива;
- 7 – регулятор давления; 8 – штуцер; 9 – электрический разъем

Насос предназначен для подачи топлива под определенным давлением в топливный коллектор (рампу). Топливо поступает на вход насоса через фильтр предварительной очистки, с выхода насоса идет через фильтр тонкой очистки и регулятор давления в нагнетательную магистраль (топливопровод), а далее в топливный коллектор. Регулятор давления поддерживает постоянное значение давления топлива в топливном коллекторе. В рассматриваемой ЭСУД давление топлива поддерживается на уровне $P_m = 0,35$ МПа.

Насос включается ЭБУ через двойное многофункциональное реле (см. прил. 2). При установке ключа зажигания в положение «зажигание» или «стартер» ЭБУ включает питание управляющей обмотки реле, при этом подается питание на электродвигатель насоса. Если в течение одной секунды после включения зажигания коленчатый вал не начинает вращаться, то ЭБУ выключает реле и насос отключается. При пуске ДВС с датчика частоты вращения коленчатого вала в ЭБУ поступает сигнал, который воспринимается как команда на включение насоса.

Конструкция роликового топливного насоса с электрическим приводом показана на рис. 37.

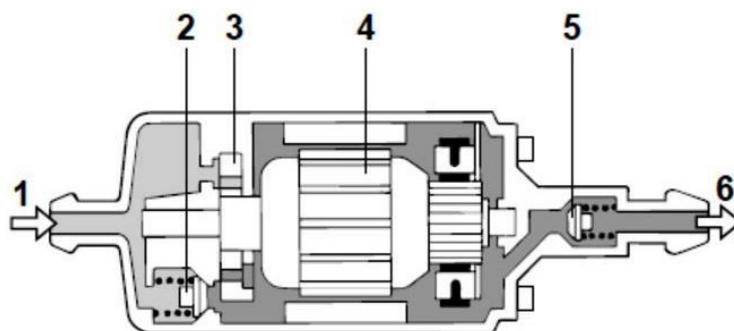


Рис. 37. Конструкция роликового топливного насоса с электрическим приводом:

- 1 – направление всасывания; 2 – предохранительный клапан;
 3 – роликовая насосная секция; 4 – электродвигатель;
 5 – обратный клапан; 6 – направление подачи топлива

Насос объемного типа состоит из роликовой насосной секции, электродвигателя, фильтра радиопомех, клапанов, смонтированных в одном герметичном корпусе.

Работа топливного насоса основана на изменении объемов всасывающей и нагнетающей полостей. Ротор насосной секции (рис. 38) представляет собой диск с пятью прорезями, в каждой из которых находится цилиндрический ролик. Диск расположен на одной оси с электромотором, но смещен (эксцентричен) по отношению к обойме нагнетателя, внутри которой он вращается. Ролики играют роль подвижных уплотнений между секциями ротора и обоймой. При вращении каждая секция ротора за счет эксцентриситета увеличивает свой объем в зоне забора топлива. Создается разрежение, которое способствует засасыванию топлива в насос. Дальнейшее вращение вызывает уменьшение объема (зона нагнетания топлива), и происходит подача топлива через выпускное отверстие под давлением.

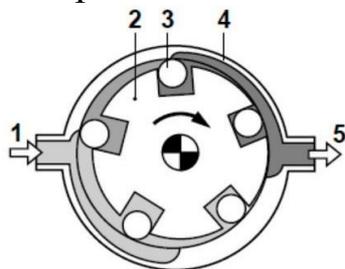


Рис. 38. Конструкция роликовой насосной секции:
 1 – направление всасывания; 2 – ротор; 3 – ролик;
 4 – нагнетательная полость; 5 – направление подачи

Интегрированный в насос обратный клапан разъединяет топливную магистраль и насос после остановки ДВС, предотвращая слив топлива из магистрали в бак. После выключения насоса в системе ещё некоторое время поддерживается избыточное давление топлива.

2.3. Устройство и принцип действия электромагнитных форсунок

Электромагнитная форсунка, являясь конструктивным элементом системы топливоподачи, представляет собой прецизионное электромагнитное устройство – быстродействующий электромагнитный клапан. Она предназначена для дозированной подачи топлива, его распыления во впускном коллекторе в зоне впускного клапана (рис. 39).

Устройство электромагнитной форсунки показано на рис. 40. В состав форсунки входят: корпус; фильтр; пружина; обмотка электромагнита, концы которой выведены наружу через изолированные от корпуса контакты; дистанционное кольцо; якорь; игла клапана; распылитель; уплотнительные кольца.

К топливному коллектору каждая форсунка подключается при помощи гидравлического разъема, который находится в верхней части её корпуса. Крепление форсунок к топливному коллектору осуществляется при помощи специальных фиксирующих устройств – пружинных скоб. Распылители форсунок устанавливаются в предусмотренные для этого отверстия во впускном коллекторе ДВС (см. рис. 39). Герметичность соединений форсунки с топливным и впускным коллекторами обеспечивается за счет применения уплотнительных колец круглого сечения.

Фильтр в приемном канале форсунки защищает её от загрязнений, содержащихся в топливе.

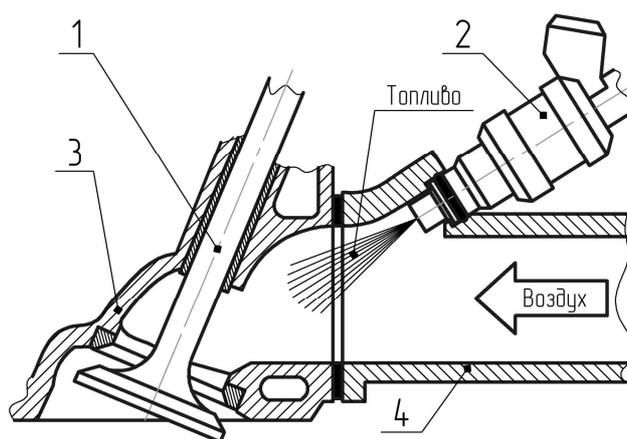


Рис. 39. Схема расположения форсунки на впускном коллекторе:

- 1 – впускной клапан; 2 – электромагнитная форсунка;
- 3 – головка блока цилиндров; 4 – впускной трубопровод

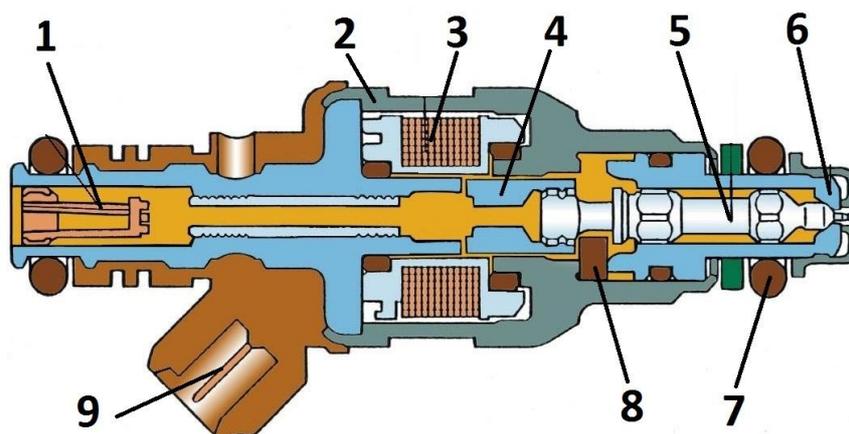


Рис. 40. Конструкция электромагнитной форсунки:
 1 – фильтр; 2 – корпус; 3 – обмотка электромагнита; 4 – якорь;
 5 – игла; 6 – распылитель; 7 – уплотнительное кольцо;
 8 – дистанционное кольцо; 9 – контакты соединительного разъема

Работа электромагнитной форсунки связана с одновременно протекающими гидромеханическими и электромагнитными процессами. Работа осуществляется следующим образом. При работающем ДВС на вход форсунки подается топливо под определенным давлением (в рассматриваемой ЭСУД давление топлива $P_m = 0,35$ МПа). В соответствии с заложенным алгоритмом электронный блок управления в нужный момент подает на обмотку электромагнита электрический импульс прямоугольной формы определенной длительности, через обмотку начинает протекать электрический ток. При этом возникает магнитное поле, которое воздействует на якорь. Преодолевая усилие пружины, якорь с иглой смещаются, при этом запорный элемент иглы приподнимается над седлом клапана в корпусе распылителя, между ними образуется зазор, через который топливо поступает к сопловому отверстию, происходит впрыскивание топлива во впускной коллектор. После прекращения управляющего импульса магнитное поле исчезает, пружина возвращает якорь и иглу форсунки в начальное положение, запорный элемент прижимается к седлу, впрыск топлива прекращается.

Электрическая схема подключения форсунок к ЭБУ представлена на рис. 41.

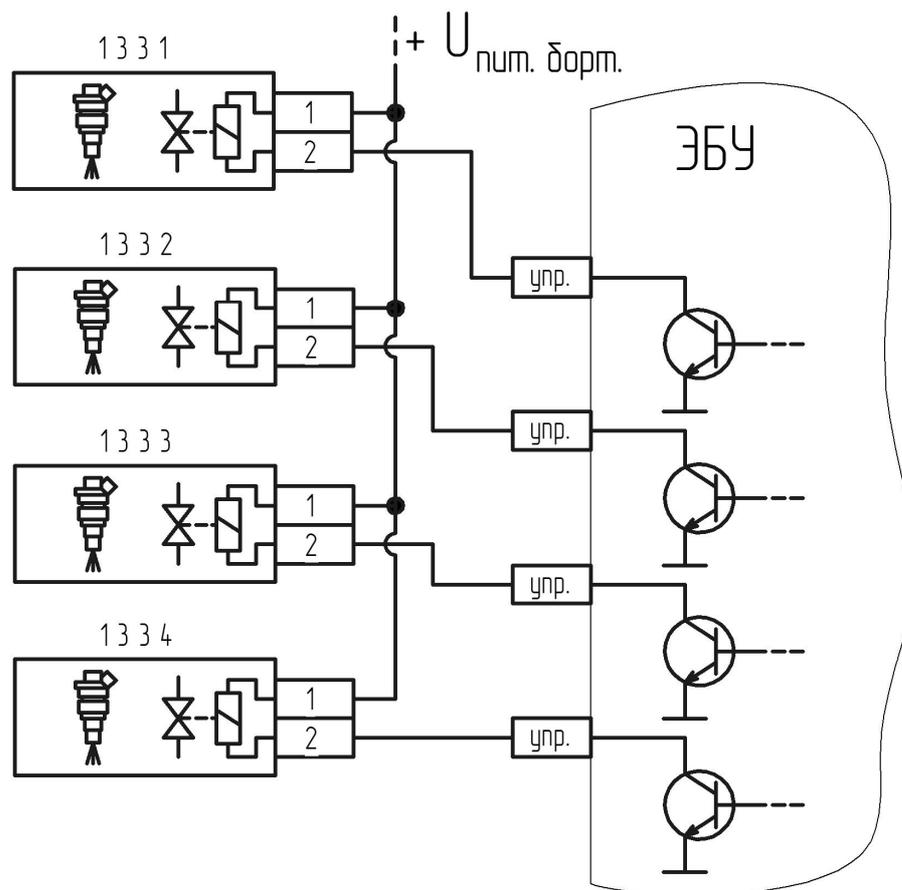


Рис. 41. Электрическая схема подключения форсунок к ЭБУ:
 1331, 1332, 1333, 1334 – электромагнитные форсунки; 1 – вывод форсунки для подключения питания; 2 – управляющий вывод форсунки

При работе ДВС на один из выводов обмотки электромагнита форсунки подается питание с напряжением, равным напряжению бортовой сети. Второй (управляющий) вывод подключен к коллектору силового транзистора в ЭБУ. Транзистор выполняет роль быстродействующего переключателя. В нужный момент и на определенное время транзистор «открывается», и второй вывод обмотки электромагнита подключается к «массе», через обмотку начинает протекать электрический ток, клапан форсунки открывается. При этом напряжение на управляющем выводе обмотки электромагнита относительно «массы» будет близко к нулю. При отключении управляющего вывода обмотки электромагнита от «массы», электрический ток, протекающий через обмотку, прерывается, клапан форсунки закрывается. После завершения переходных процессов в цепи управления форсункой устанавливается постоянное напряжение, равное напряжению бортовой сети.

Время, в течение которого управляющий вывод электромагнита форсунки подключен к «массе», называется длительностью управляющего импульса. От длительности управляющего импульса наряду с давлением топлива на входе форсунки, давлением воздуха во впускном коллекторе, расходной характеристикой зависит количество впрыскиваемого топлива за цикл.

Моменты начала и окончания процесса впрыска не соответствуют началу и окончанию действия управляющего электрического импульса.

После подачи управляющего электрического импульса на форсунку в обмотке электромагнита возникает ЭДС самоиндукции, препятствующая нарастанию электрического тока в обмотке, и соответственно нарастанию магнитного потока в системе. Из-за этого нарастание усилия, действующего на якорь, замедляется. Кроме того, якорь вместе с иглой обладают определенной массой, поэтому при их ускоренном движении возникают силы инерции, приложенные к ним и направленные против движущей силы. В результате открытие клапана форсунки происходит с задержкой по времени.

При отключении управляющего вывода электромагнита форсунки от «массы», за счет резкого уменьшения силы тока, быстро убывает магнитный поток, пронизывающий катушку электромагнита. При этом в обмотке появляется ЭДС самоиндукции (пиковое значение ЭДС самоиндукции достигает 50 В и более), препятствующая этому убыванию. Это обстоятельство, с учетом действия инерционных сил, приводит к задержке закрытия клапана форсунки.

Осциллограммы напряжения на управляющем выводе обмотки электромагнита форсунки; силы тока, протекающего через обмотку; перемещения иглы форсунки при работе ДВС показаны на рис. 42.

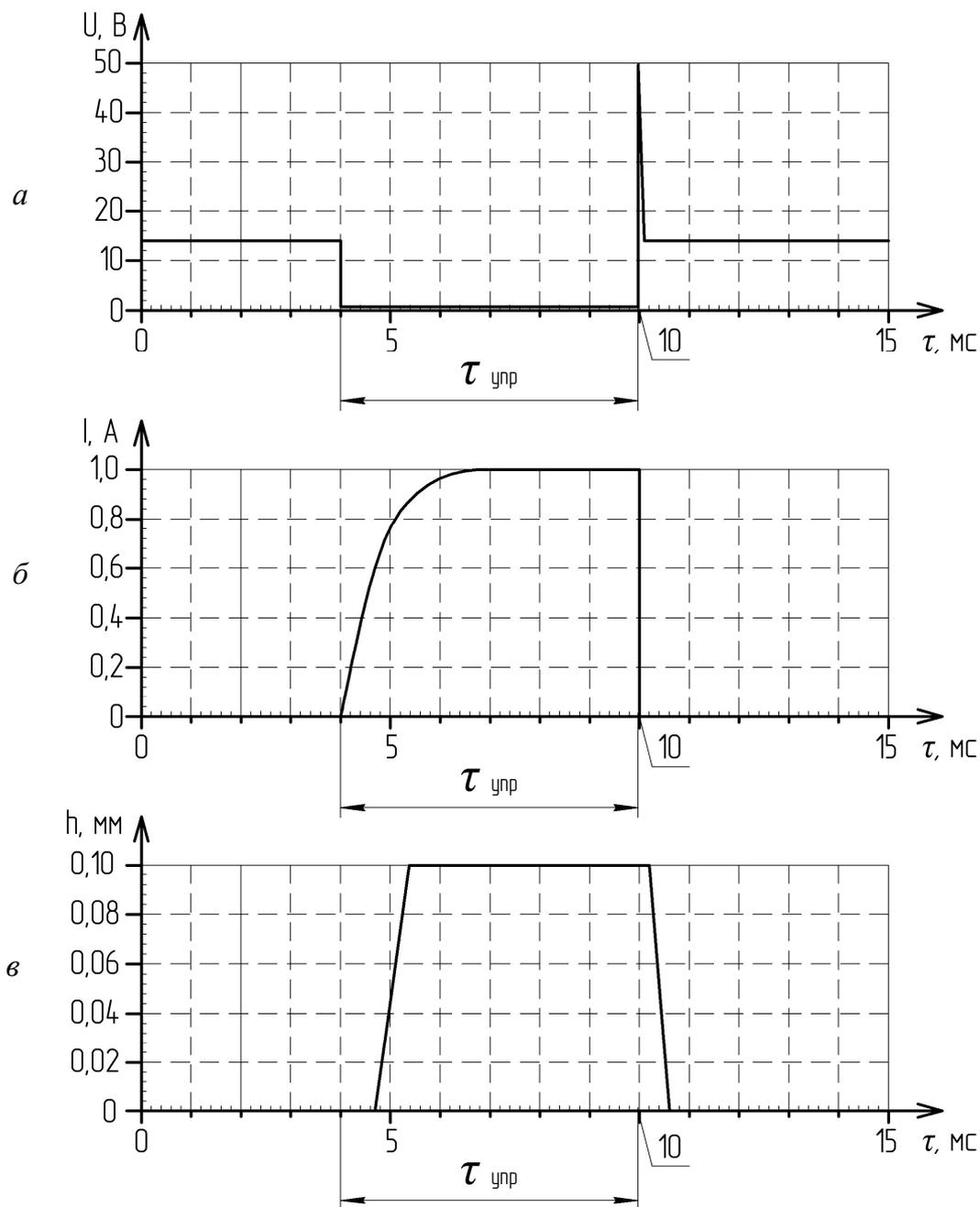


Рис. 42. Пример осциллограммы напряжения в электрической цепи управления форсункой:
a – силы тока, протекающего через обмотку; *б* – хода иглы форсунки;
в – при работе ДВС ; $\tau_{упр}$ – длительность управляющего импульса

2.4. Устройство и принцип действия четырёхвыводной катушки зажигания

Четырёхвыводная катушка зажигания является конструктивным элементом системы высоковольтного электроискрового зажигания со статическим распределением высоковольтных импульсов по цилиндрам. Катушка зажигания предназначена для накопления энергии в индуктивности в виде энергии магнитного поля и последующим быстрым её выделением в искровом промежутке свечи.

Распределение высоковольтных импульсов по цилиндрам в рассматриваемой системе производится на низковольтной стороне. Катушка зажигания имеет четыре высоковольтных вывода. Импульсы высокого напряжения поочередно появляются одновременно на одной паре выводов и подаются сразу на две свечи зажигания. Свечи зажигания сгруппированы таким образом, что один из высоковольтных импульсов подается на свечу цилиндра в такте сжатия и производит воспламенение рабочей смеси (т.н. «рабочая» искра). Другой импульс подается на свечу цилиндра, в котором в это время совершается такт выпуска и выделенная в искре энергия расходуется вхолостую (т.н. «холостая» искра). В четырехцилиндровых ДВС обычно объединяются в группы свечи первого и четвертого, второго и третьего цилиндров. Недостатком подобных систем, использующих четырехвыводные катушки, является разнополярность высоковольтных импульсов относительно «массы» автомобиля на спаренных свечах зажигания, что предопределяет разное напряжение пробоя искрового промежутка на данных свечах (разница напряжения пробоя может достигать 1,5–2 кВ), а также наличие потерь энергии при пробое искрового промежутка свечи на такте выпуска.

Четырёхвыводная катушка зажигания состоит из двух двухвыводных катушек зажигания, собранных на общем Ш-образном магнитопроводе, то есть представляет собой объединенные в одной конструкции два высоковольтных импульсных трансформатора (рис. 43). Такая катушка имеет две первичные и две вторичные обмотки. В такой конструкции общим элементом является средний стержень магнитопровода, а взаимное влияние двух катушек исключается с помощью двух воздушных зазоров δ . Величина этих зазоров может достигать 1–2 мм, при этом увеличивается магнитное сопротивление в магнитопроводе, и достигается развязка каналов.

Первичные обмотки имеют малое число витков с омическим сопротивлением в доли Ома, вторичные обмотки имеют большее число витков с омическим сопротивлением в десятки кОм. Отношение числа витков вторичной обмотки W_2 к числу витков первичной W_1 называется коэффициентом трансформации ($K_T = W_2 / W_1$). Коэффициент трансформации катушки зажигания, применяемой в рассматриваемой ЭСУД $K_T = 70$.

Конструкция четырёхвыводной катушки зажигания показана на рис. 44. Первичные и вторичные обмотки намотаны на каркасах из полимерного материала, обладающего высокими диэлектрическими свойствами. Вторичные обмотки намотаны поверх первичных на секционный пластмассовый каркас для уменьшения их емкости и снижения вероятности межвиткового пробоя. Обмотки помещены в пластмассовый корпус и залиты эпоксидным компаундом. Сердечник катушки набран из тонких листов электротехнической стали для уменьшения потерь на вихревые токи. Катушка в сборе представляет собой монолитную конструкцию с высокой стойкостью к механическим, электрическим и климатическим воздействиям.

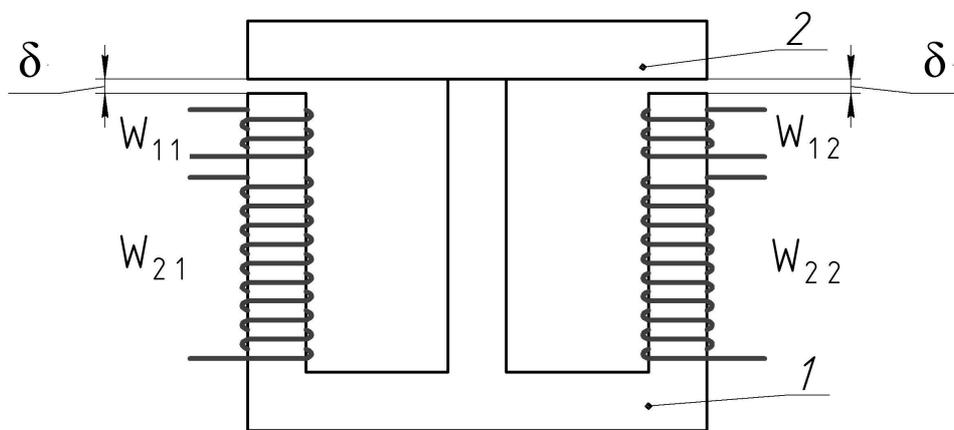


Рис. 43. Устройство четырёхвыводной катушки зажигания:

W_{11} , W_{12} – первичные обмотки;

W_{21} , W_{22} – вторичные обмотки.

1 – Ш-образный магнитопровод;

2 – соединительное ярмо;

δ – зазор в магнитопроводе

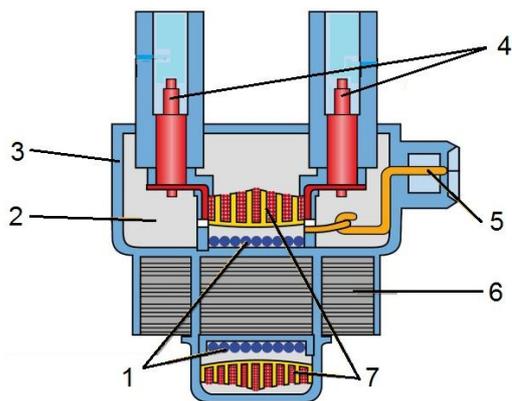


Рис. 44. Конструкция четырехвыводной катушки зажигания:

1 – первичная обмотка; 2 – эпоксидный компаунд; 3 – корпус;
4 – высоковольтные выводы; 5 – вывод одной из первичных обмоток;
6 – сердечник; 7 – вторичная обмотка

Электрическая схема подключения четырехвыводной катушки к ЭБУ представлена на рис. 45. При работе ДВС на один из выводов каждой первичной обмотки подается питание с напряжением, равным напряжению бортовой сети. Вторые (управляющие) выводы первичных обмоток подключены к коллекторам силовых транзисторов в ЭБУ. Транзисторы исполняют роль быстродействующих переключателей. В нужные моменты и на определенное время транзисторы поочередно «открываются», и вторые (управляющие) выводы первичных обмоток четырехвыводной катушки зажигания поочередно подключаются к «массе» через проводящий участок «коллектор – эмиттер». То есть первичные обмотки поочередно подключаются к источнику питания постоянного тока.

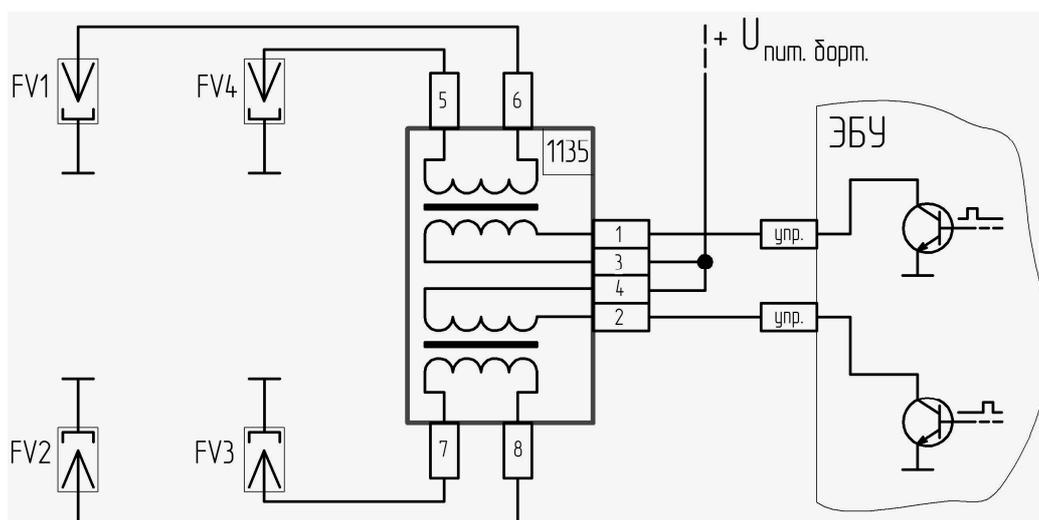


Рис. 45. Электрическая схема подключения катушки зажигания:

1135 – четырехвыводная катушка зажигания; 1, 2 – управляющие выводы катушки зажигания; 3, 4 – выводы катушки для подключения питания;

5, 6, 7, 8 – высоковольтные выводы катушки;

FV1, FV2, FV3, FV4 – свечи зажигания соответственно первого, второго, третьего и четвертого цилиндров

Пример временных диаграмм формирования импульса зажигания показан на рис. 46.

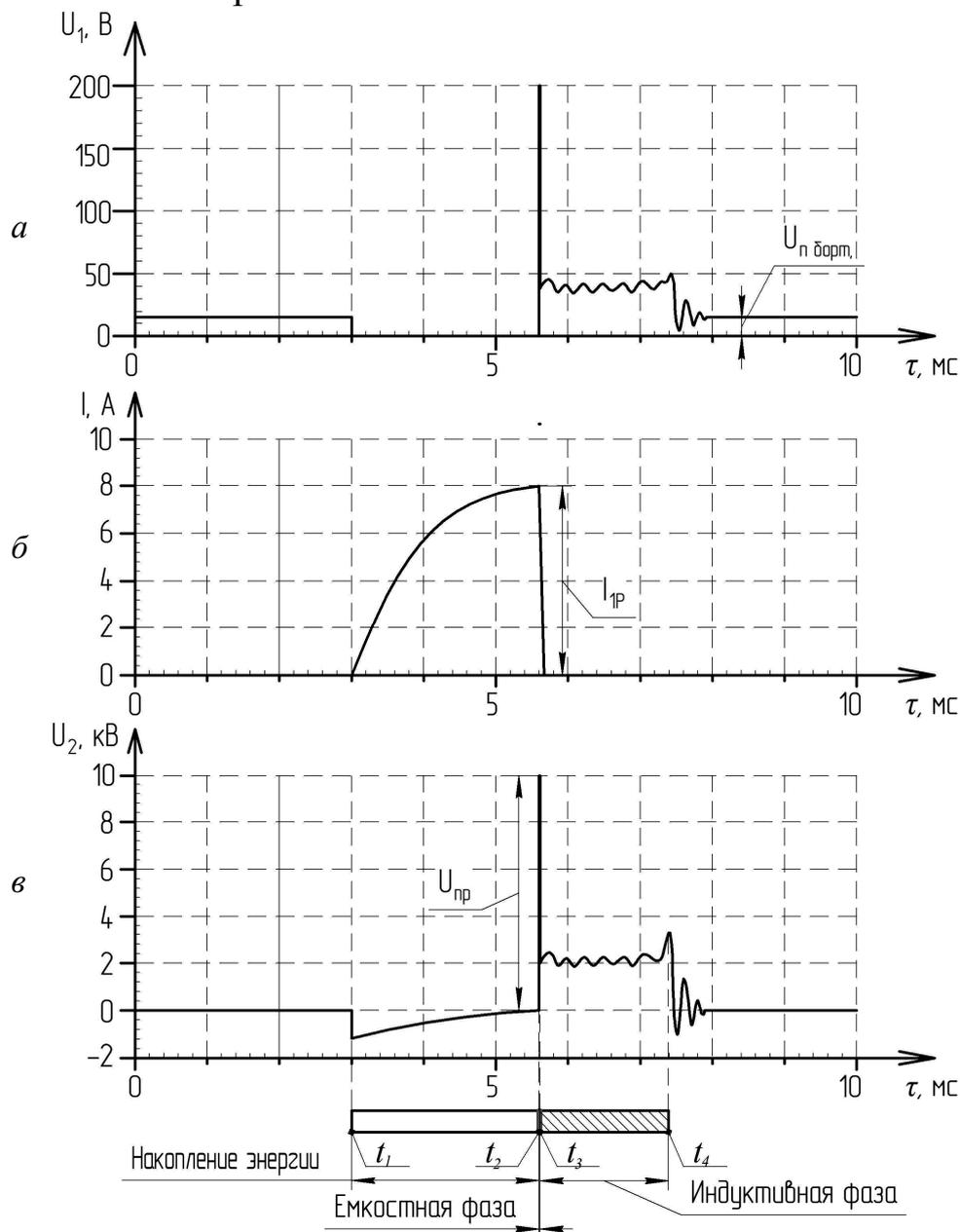


Рис. 46. Пример временных диаграмм формирования импульса зажигания: *а* – изменение напряжения на управляющем выводе первичной обмотки катушки зажигания; *б* – изменение тока в первичной цепи; *в* – изменение напряжения во вторичной цепи:

$U_{n \text{ борт.}}$ – напряжение питания бортовой сети; I_{1p} – ток разрыва первичной цепи;

U_n – напряжение пробоя искрового промежутка свечи зажигания;

t_1 – момент времени подключения первичной обмотки к источнику питания;

t_2 – момент времени отключения первичной обмотки от источника питания;

t_3, t_4 – соответственно моменты времени окончания емкостной и индуктивной фазы разряда

При подключении первичной обмотки катушки зажигания к источнику питания постоянного тока, через обмотку начинает протекать электрический ток, ток при этом нарастает по экспоненциальному закону, как показано на рис. 46. В это время напряжение на управляющем выводе первичной обмотки катушки относительно «массы» близко к нулю (см. рис. 46). Протекающий через обмотку ток создаёт магнитное поле, силовые линии которого, замыкаясь через сердечник, пересекают витки первичной и вторичной обмоток. Происходит накопление энергии в виде энергии магнитного поля. Время, в течение которого управляющий вывод первичной обмотки подключен к «массе», называется продолжительностью периода накопления энергии. После запирающего силового транзистора второй вывод первичной обмотки отключается от «массы». Происходит прерывание тока в первичной обмотке, и вызванный им магнитный поток начинает резко уменьшаться. При исчезновении магнитного поля в первичной и вторичной обмотках, согласно закону электромагнитной индукции, наводится ЭДС, пропорциональная скорости уменьшения магнитного потока и числу витков в обмотках. Амплитуда ЭДС во вторичной разомкнутой цепи зависит от коэффициента трансформации катушки зажигания, величины накопленной энергии, электроемкостей элементов катушки, величины потерь в активных сопротивлениях и может достигать 35–40 кВ. При прерывании тока через первичную обмотку в первичной и во вторичной цепях возникают затухающие колебательные процессы, связанные с обменом энергией между магнитным полем катушки и электрическим полем в электрических ёмкостях цепей. Амплитуда колебаний убывает по экспоненциальному закону. Если к выводам вторичной обмотки будет подключена свеча зажигания, то уже во время первого полупериода колебаний при достижении вторичным напряжением U_2 значения напряжения пробоя U_n произойдет пробой искрового промежутка свечи зажигания. Величина напряжения пробоя U_n зависит от расстояния между электродами свечи δ , от давления p и температуры среды T , в которой находятся электроды свечи [$U_n = f(p \delta/T)$] и, как правило, находится в диапазоне $U_n = 8–16$ кВ. Поскольку к моменту пробоя искрового промежутка не вся энергия магнитного поля катушки преобразуется в энергию электрического поля ёмкостей электрических цепей, разряд имеет две фазы: ёмкостную и индуктивную. Во время ёмкостной фазы происходит разряд ёмкостей, данная фаза достаточно кратковременна, имеет длительность порядка $\tau \approx 0,03$ мс, напряжение и сила тока при этом

достаточно велики. После окончания ёмкостной фазы разряда вторичное напряжение резко уменьшается до значения $U = 1 - 2,5$ кВ, начинается индуктивная фаза разряда, во время которой разряд поддерживается за счет энергии, накопленной в магнитном поле катушки. Данная фаза отличается значительной продолжительностью (около 1,3 – 2,5 мс) и относительно небольшим напряжением и силой тока. После окончания индуктивной фазы разряда остатки энергии рассеиваются в виде тепла во время затухающих колебаний.

Величина тока первичной цепи в момент разрыва I_{1P} определяется временем протекания тока и параметрами первичной цепи (напряжение, сопротивление, индуктивность). Величина тока I_{1P} оказывает определяющее влияние на значение амплитуды вторичного напряжения U_{2m} и энергию искрового разряда. Для стабилизации напряжения U_{2m} необходимо поддерживать значение тока I_{1P} на постоянном уровне. Понижение напряжения бортовой сети приводит к уменьшению тока I_{1P} и соответственно к уменьшению напряжения U_{2m} . В этом случае ЭБУ автоматически увеличивает продолжительность периода накопления энергии для стабилизации I_{1P} .

2.5. Устройство и принцип действия электропривода дроссельной заслонки

Электропривод дроссельной заслонки является конструктивным элементом системы «E – gas» (Elektronisches Gaspedal) (рис. 47) и служит для изменения положения дроссельной заслонки по команде ЭБУ. На основании информации о положении педали акселератора, с учетом информации поступающей от других датчиков, блоком управления определяется требуемое положение дроссельной заслонки в данный момент времени и подается соответствующий управляющий сигнал на привод дроссельной заслонки.

Электропривод дроссельной заслонки интегрирован в модуль управления дроссельной заслонкой (см. рис. 47). В состав электропривода дроссельной заслонки входят: двигатель постоянного тока, передаточный механизм и пружина возврата. Передаточный механизм, расположенный между электродвигателем и дроссельной заслонкой, представляет собой двухступенчатую зубчатую передачу с передаточным отношением 1:40. Для контроля перемещения используется специальный датчик.

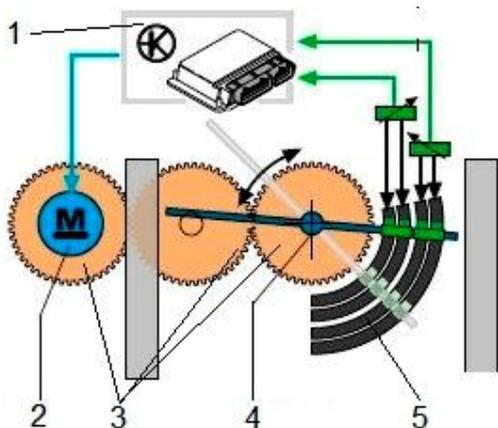


Рис. 47. Устройство модуля дроссельной заслонки:
 1 – ЭБУ; 2 – электродвигатель;
 3 – передаточный механизм;
 4 – дроссельная заслонка; 5 – датчик положения дроссельной заслонки

При работе ДВС развиваемый электродвигателем крутящий момент через зубчатую передачу передается на ось дроссельной заслонки. Данный момент направлен в сторону открытия заслонки. Одновременно к оси заслонки приложен момент от силы упругости возвратной пружины, направленный в сторону закрытия заслонки. Величина крутящего момента, развиваемого электродвигателем, определяет значение угла поворота дроссельной заслонки. В свою очередь крутящий момент на валу электродвигателя зависит от силы тока, протекающего через обмотки его якоря.

Электрическая схема подключения электродвигателя привода дроссельной заслонки к ЭБУ показана на рис. 48. Осциллограммы управляющих сигналов показаны на рис. 49.

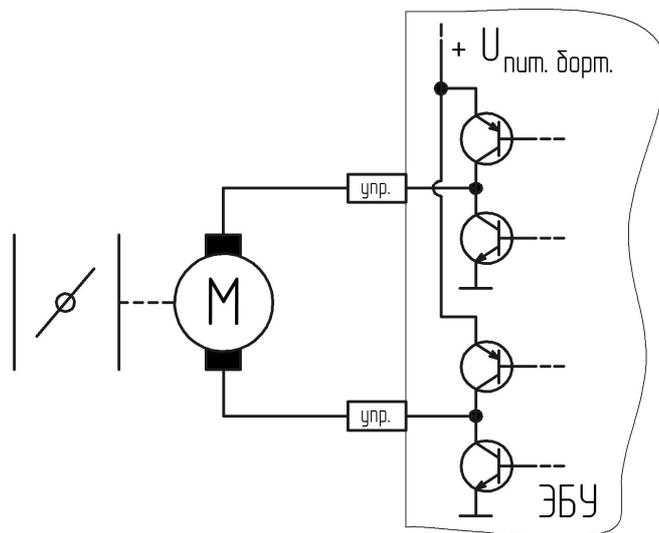


Рис. 48. Электрическая схема подключения электродвигателя привода дроссельной заслонки к ЭБУ:
 М – электродвигатель постоянного тока

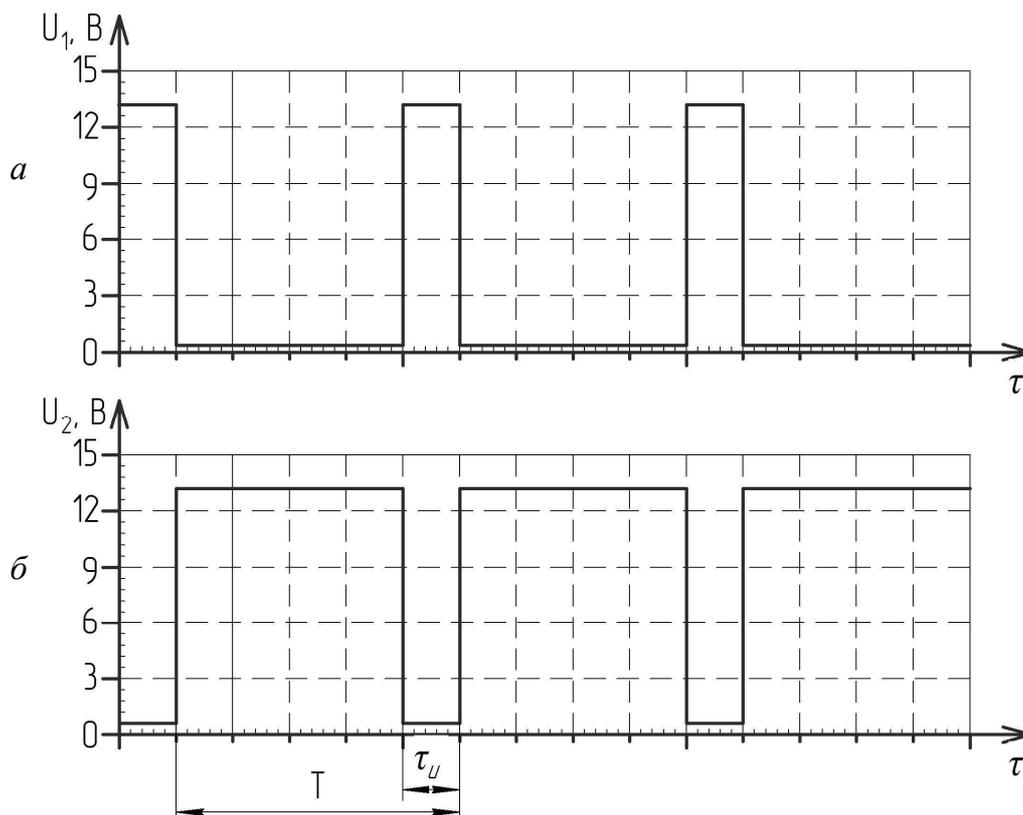


Рис. 49. Осциллограммы управляющих сигналов, поступающих из ЭБУ на электродвигатель привода дроссельной заслонки:
a, б – соответственно сигналы на первом и втором выводах электродвигателя;
T – период следования импульсов; τ_u – длительность импульса

Для изменения средней силы тока, протекающего через обмотки якоря электродвигателя, применяется широтно-импульсная модуляция [ШИМ, Pulse Width Modulation (PWM)], т.е. средняя сила тока варьируется путём изменения скваженности импульсов, при постоянной частоте их следования. Скважностью импульсов S называется отношение периода следования импульсов T к их длительности τ_u :

$$S = T / \tau_u. \quad (2)$$

Выводы электродвигателя постоянного тока подключены к транзисторным выходным каскадам, находящимся в ЭБУ. Силовые транзисторы, работая в ключевом режиме, производят периодическую коммутацию выводов электродвигателя, формируют соответствующие управляющие импульсные сигналы с ШИМ.

2.6. Устройство и принцип действия электромагнитного клапана продувки адсорбера

В топливном баке автомобиля происходит процесс испарения бензина. Чтобы не допустить попадания этих паров в атмосферу, автомобили оснащаются системой улавливания паров топлива. Основными элементами данной системы являются угольный адсорбер и электромагнитный клапан продувки (рис. 50), при открытии которого адсорбер сообщается с впускным коллектором ДВС.

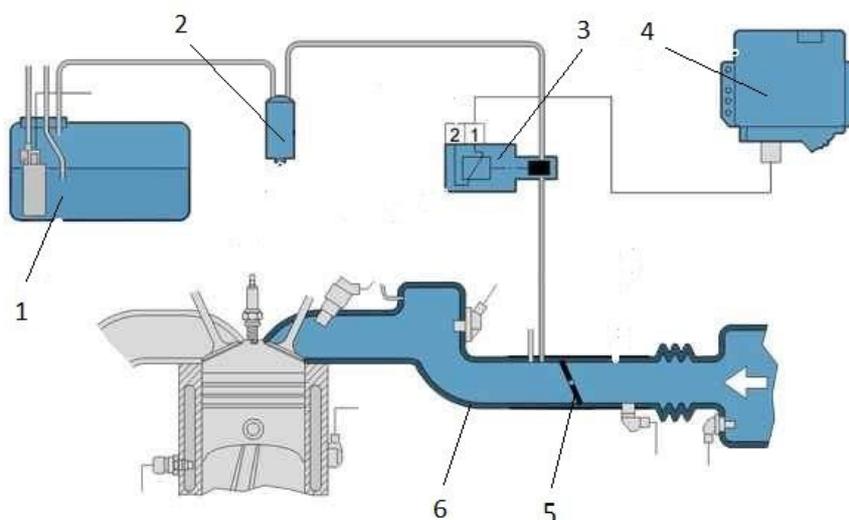


Рис. 50. Устройство системы улавливания паров топлива:
1 – топливный бак; 2 – адсорбер; 3 – клапан продувки адсорбера; 4 – ЭБУ;
5 – дроссельная заслонка; 6 – впускной коллектор

Пары бензина через специальную трубку поступают из топливного бака в адсорбер, где накапливаются и удерживаются. Адсорбер представляет собой цилиндрическую ёмкость, наполненную активированным углем (гранулят с очень большой площадью поверхности и способностью аккумулировать пары углеводородов). Поглощающая способность адсорбера ограничена, поэтому его необходимо периодически регенерировать. Регенерация адсорбера происходит во время работы двигателя. При определенных условиях ЭБУ подаёт на клапан продувки адсорбера команду на открытие. Пары бензина, перемешанные с воздухом, попадающим в адсорбер через специальный штуцер, за счет перепада давления поступают во впускной коллектор и далее на такте впуска –

в цилиндр ДВС. ЭБУ регулирует интенсивность продувки адсорбера в зависимости от режима работы ДВС.

В состав электромагнитного клапана продувки адсорбера входят корпус со штуцерами, обмотка электромагнита, сердечник, возвратная пружина, якорь с запирающим элементом, седло клапана. Устройство клапана продувки адсорбера показано на рис. 51.

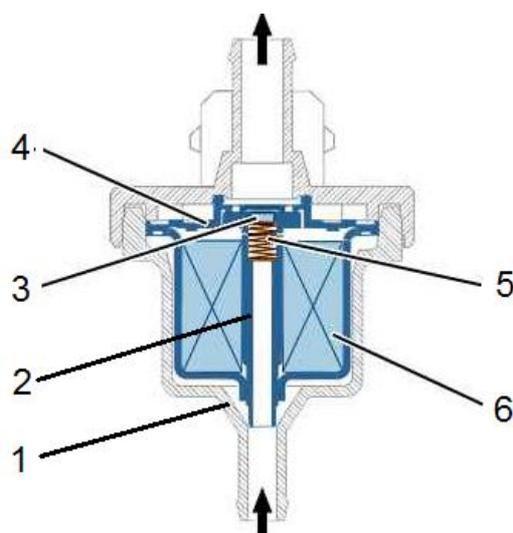


Рис. 51. Устройство электромагнитного клапана продувки адсорбера:
1 – корпус со штуцерами; 2 – сердечник;
3 – якорь с запирающим элементом;
4 – седло клапана; 5 – возвратная пружина;
6 – обмотка электромагнита

Работа клапана осуществляется следующим образом. В соответствии с заложенным алгоритмом электронный блок управления в нужный момент подает на обмотку электромагнита клапана управляющий сигнал с ШИМ, представляющий собой последовательность прямоугольных импульсов с постоянным периодом следования T и варьируемой длительностью $\tau_{упр}$, т.е. для управления применяется импульсный сигнал с изменяемой скважностью S [формула (2)].

Скважность импульсов S наряду с величиной перепада давления определяет интенсивность продувки адсорбера. Осциллограмма управляющего сигнала, поступающего на электромагнитный клапан продувки адсорбера, показана на рис. 52.

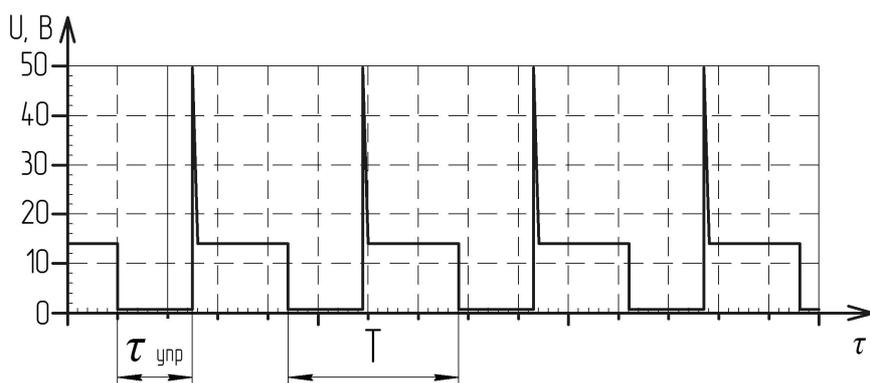


Рис. 52. Осциллограмма сигнала управления электромагнитным клапаном продувки адсорбера:
 $\tau_{упр}$ – длительность управляющего импульса;
 T – период следования импульсов

Под действием управляющего импульса через обмотку начинает протекать электрический ток. При этом возникает магнитное поле, которое воздействует на якорь. Преодолевая усилие пружины, якорь с запорным элементом приподнимается над седлом клапана, между ними образуется зазор, через который пары топлива поступают к выходному штуцеру и далее по специальному шлангу во впускной коллектор ДВС. После прекращения управляющего импульса магнитное поле исчезает, пружина возвращает якорь клапана в начальное положение, запорный элемент прижимается к седлу, продувка прекращается. При этом за счет резкого уменьшения силы тока быстро убывает магнитный поток, пронизывающий катушку электромагнита; в обмотке появляется ЭДС самоиндукции. Под действием серии управляющих импульсов периодически происходит открытие и закрытие клапана.

Схема подключения электромагнитного клапана продувки адсорбера к ЭБУ показана на рис. 53.

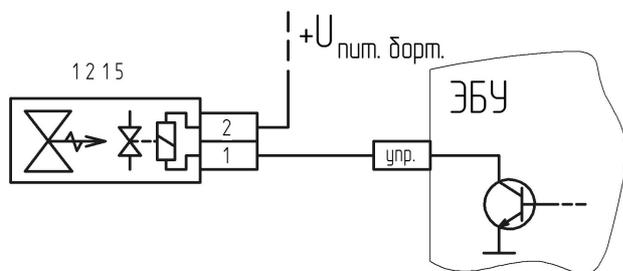


Рис. 53. Схема подключения электромагнитного клапана продувки адсорбера к ЭБУ:
 1215 – клапан продувки адсорбера;
 1 – управляющий вывод электромагнита клапана;
 2 – вывод электромагнита клапана для подключения питания

При работе ДВС на один из выводов обмотки электромагнита клапана через реле подается питание с напряжением, равным напряжению бортовой сети. Второй (управляющий) вывод подключен к коллектору силового транзистора в ЭБУ. Транзистор исполняет роль быстродействующего переключателя. В нужный момент и на определенное время транзистор «открывается», и второй вывод обмотки электромагнита через проводящий участок «коллектор – эмиттер» подключается к «массе», через обмотку начинает протекать электрический ток, клапан открывается. При этом напряжение на управляющем выводе обмотки электромагнита относительно «массы» близко к нулю. При отключении управляющего вывода обмотки электромагнита от «массы», электрический ток, протекающий через обмотку, прерывается, клапан закрывается.

2.7. Устройство и принцип действия электровентилятора системы охлаждения ДВС

Электровентилятор системы охлаждения ДВС предназначен для повышения скорости прохождения воздуха через радиатор и конденсатор кондиционера с целью улучшения их охлаждения. Вентилятор обычно располагают за радиатором системы охлаждения ДВС в специальном направляющем кожухе.

Электровентилятор системы охлаждения ДВС представлен на рис. 54.



Рис. 54. Электровентилятор системы охлаждения ДВС:
1 – соединительный кабель; 2 – крыльчатка вентилятора;
3 – электродвигатель

В состав электровентилятора системы охлаждения ДВС входит приводной электродвигатель, одноступенчатый осевой вентилятор с пластмассовой восьмилопастной крыльчаткой и соединительный кабель. В качестве приводного электродвигателя используются электродвигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов, его устройство показано на рис. 55.

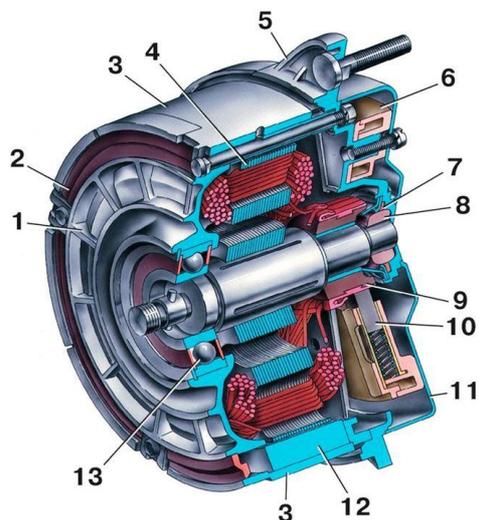


Рис. 55. Электродвигатель вентилятора системы охлаждения ДВС:

- 1 – корпус электродвигателя;
- 2 – грязезащитное кольцо;
- 3 – держатель магнитов;
- 4 – якорь электродвигателя;
- 5 – крышка; 6 – щеткодержатель;
- 7 – войлочное кольцо; 8 – втулка;
- 9 – коллектор; 10 – щетка; 11 – кожух;
- 12 – магнит;
- 13 – шариковый подшипник

Электровентилятор системы охлаждения через дополнительные реле включается и выключается по сигналу электронного блока управления двигателем при превышении заданной температуры охлаждающей жидкости или давления хладагента в системе кондиционирования. При понижении температуры охлаждающей жидкости и (или) давления хладагента ЭБУ отключает вентилятор. При этом следует отметить, что значение температуры (давления) включения больше значения температуры (давления) выключения.

В зависимости от напряженности теплового режима ДВС и алгоритма работы кондиционера электровентилятор может вращаться с малой и большой скоростями. Изменение скоростного режима вентилятора обеспечивается ЭБУ путем подключения последовательно с электродвигателем дополнительного электрического сопротивления. С диагностической целью ЭБУ при работе ДВС контролирует величину напряжения на обмотках электродвигателя вентилятора. Электрическая схема подключения электровентилятора показана на рис. 56.

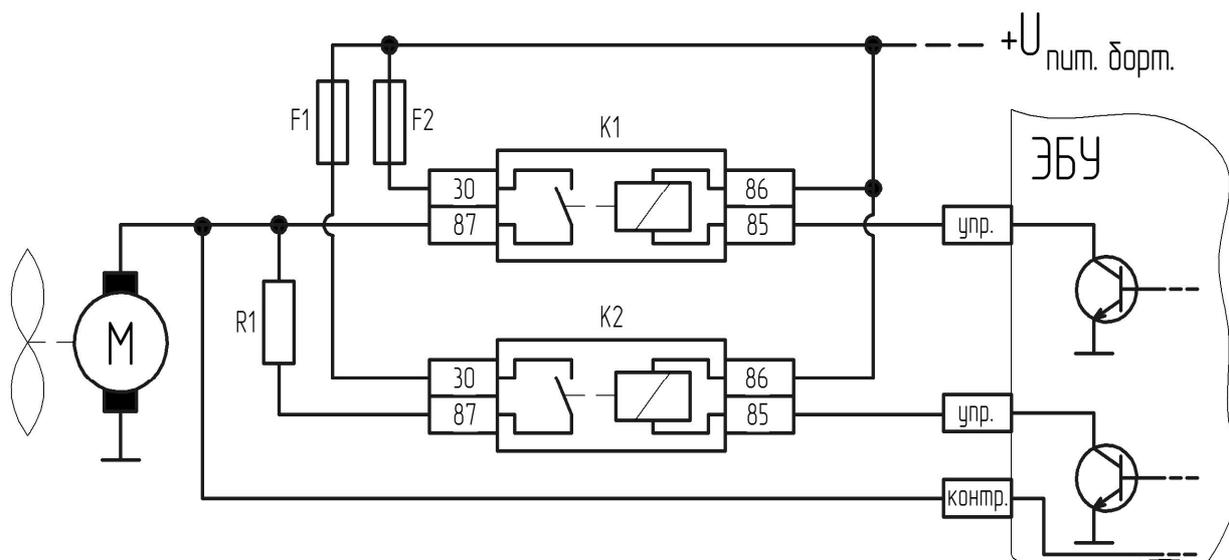


Рис. 56. Электрическая схема подключения электроклапана системы охлаждения ДВС: *M* – электродвигатель привода клапана системы охлаждения; *R1* – дополнительное сопротивление; *F1*, *F2* – плавкие предохранители; *K1*, *K2* – электромагнитные реле включения электродвигателя клапана соответственно с большой и малой скоростями

Контрольные вопросы

1. Какие исполнительные элементы входят в состав ЭСУД BOSCH 7.4.4.?
2. Какие элементы входят в состав модуля подачи топлива?
3. Какую функцию выполняет топливный электронасос?
4. Из каких элементов состоит топливный электронасос?
5. Для чего предназначен обратный клапан топливного электрического насоса?
6. Какую функцию выполняют электромагнитные форсунки в составе ЭСУД?
7. Из каких элементов состоит электромагнитная форсунка бензинового двигателя?
8. Каким образом осуществляется работа электромагнитной топливной форсунки?
9. Что произойдет, если на работающем ДВС управляющий вывод форсунки подключить в «массе»?
10. Почему моменты начала и окончания процесса впрыска топлива не соответствуют началу и окончанию действия управляющего импульса?

11. Почему во время работы форсунки при отключении её управляющего вывода от «массы» в обмотке её электромагнита наводится ЭДС самоиндукции?

12. Каким образом происходит распределение высоковольтных импульсов по цилиндрам двигателя в системе зажигания, управляемой ЭСУД BOSCH 7.4.4. ?

13. Какие функции выполняет катушка зажигания в составе системы зажигания?

14. В чем заключаются преимущества и недостатки применения четырёхвыводных катушек зажигания?

15. Из каких элементов состоит четырёхвыводная катушка зажигания?

16. За счет чего ослабляется взаимное влияние двух высоковольтных импульсных трансформаторов, входящих в состав четырёхвыводной катушки зажигания?

17. Что называют коэффициентом трансформации?

18. Зачем сердечник катушки зажигания набран из тонких листов электротехнической стали?

19. Каким образом осуществляется работа катушки зажигания?

20. На какие фазы делится электрический разряд в искровом промежутке свечи зажигания и почему?

21. От каких параметров зависит величина тока в первичной цепи катушки зажигания в момент разрыва?

22. За счет чего ЭБУ стабилизирует значение тока в первичной цепи катушки зажигания в момент разрыва при изменении питания бортовой сети?

23. От каких параметров зависит величина напряжения пробоя искрового промежутка свечи зажигания?

24. Какие элементы входят в состав системы «E-gas»?

25. Какие элементы входят в состав модуля управления дроссельной заслонкой?

26. Каким образом осуществляется изменение положения дроссельной заслонки в системы «E-gas»?

27. Как ЭБУ изменяет среднюю силу тока, протекающего через якорь электродвигателя привода дроссельной заслонки?

28. Что называется скважностью электрических импульсов?

29. Какие элементы входят в состав системы улавливания паров топлива в баке? Как работает данная система?

30. Из каких элементов состоит клапан продувки адсорбера и как он работает?

31. Каким образом управляется электромагнитный клапан продувки адсорбера?

32. Для чего предназначен электровентилятор системы охлаждения ДВС?

33. Какие элементы входят в состав электродвигателя вентилятора системы охлаждения ДВС?

34. Каким образом в рассматриваемой ЭСУД осуществляется изменение скоростного режима электровентилятора системы охлаждения ДВС?

3. УМЕНЬШЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ БЕНЗИНОВОГО ДВС

3.1. Токсичные вещества, содержащиеся в отработавших газах бензиновых ДВС

Сгорание топлива в цилиндрах ДВС сопровождается образованием большого количества различных токсичных веществ, в состав которых входят продукты неполного сгорания и термического разложения углеводородов топлива, оксиды азота и др.

Основными токсичными компонентами, входящими в состав отработавших газов бензиновых ДВС являются оксид углерода CO , остатки углеводородного топлива CH и оксиды азота NO_x .

Оксид углерода CO , образуется во время сгорания топлива в бензиновых двигателях, главным образом, за счет диссоциации CO_2 . Чем богаче сгорающая топливовоздушная смесь, тем выше в отработавших газах концентрация CO .

Остатки углеводородного топлива CH состоят из исходных или распавшихся молекул топлива, которые не принимали участие в сгорании вследствие гашения пламени вблизи относительно холодных стенок камеры сгорания, в «защемленных» объемах, находящихся в зазоре между поршнем и цилиндром над верхним компрессионным кольцом.

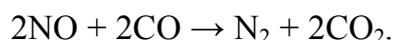
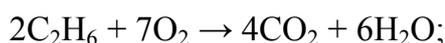
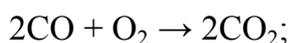
Оксиды азота NO_x образуются в камере сгорания при высокой температуре в результате взаимодействия азота N_2 и кислорода O_2 . При сгорании топлива в камере сгорания в основном образуется оксид азота NO , который в выпускной системе и в атмосфере окисляется до диоксида азота NO_2 . Образование оксидов азота NO_x значительно увеличивается с ростом температуры горения и концентрации кислорода.

3.2. Нейтрализация токсичных веществ, содержащихся в отработавших газах бензиновых ДВС

Для снижения токсичности отработавших газов бензиновых ДВС применяются специальные устройства, предназначенные для обработки отработавших газов в выпускной системе, которые называются нейтрализаторами.

В системе выпуска ДВС, оснащенного ЭСУД BOSCH 7.4.4., применяются трёхкомпонентный (бифункциональный) катали-

ческий нейтрализатор, в котором химические катализаторы ускоряют протекание реакций окисления оксида углерода CO и несгоревших углеводородов CH, а также восстановление оксидов азота NO_x. В качестве восстановителя NO_x используются находящиеся в отработавших газах CO, CH, и H₂. При восстановлении NO_x одновременно происходит окисление CO и CH.



Устройство трёхкомпонентного каталитического нейтрализатора показано на рис. 57.

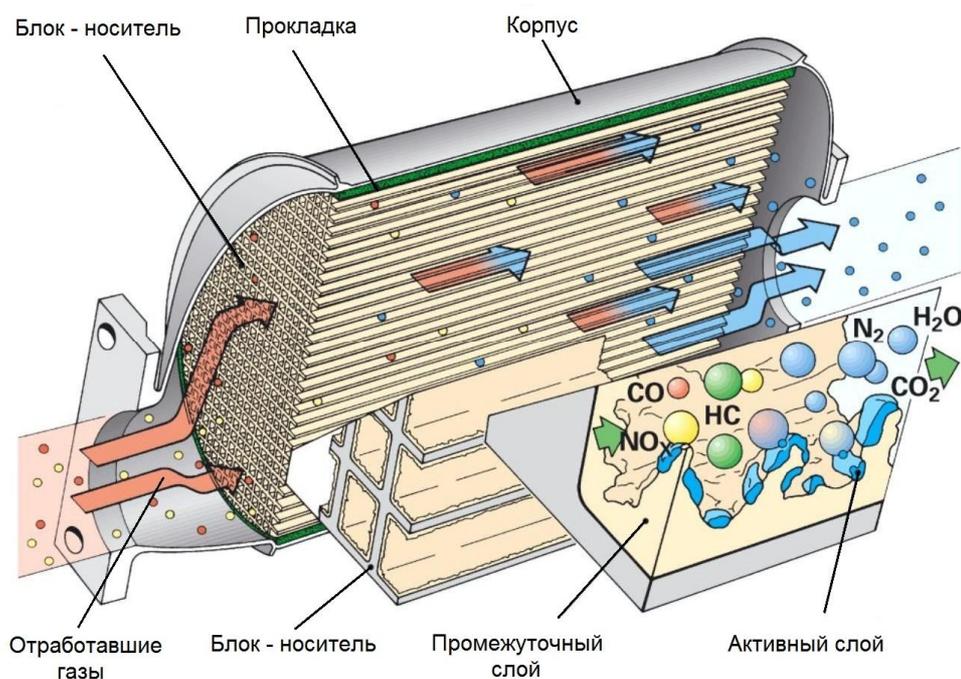


Рис. 57. Устройство трёхкомпонентного каталитического нейтрализатора

В состав каталитического нейтрализатора входят: корпус, блок-носитель, прокладка. Внутри корпуса нейтрализатора, выполненного из нержавеющей стали, установлен блок-носитель. Блок-носитель выполнен из специальной огнеупорной керамики (магниево-алюминиевый силикат или карбид кремния) или из металлической фольги с сотовой структурой. Конструктивно блок-носитель состоит

из множества продольных сот-ячеек, это позволяет обеспечить достаточную площадь контакта отработавших газов с активным слоем. Поверхность сот-ячеек покрыта сначала оксидным промежуточным слоем, а затем на него накладывается каталитически активный слой. Промежуточный слой дополнительно увеличивает контактную поверхность. В качестве катализаторов применяются металлы: платина Pt, палладий Pd и родий Rh. На каталитически активном слое происходят химические реакции. Платина и палладий ускоряют химическую реакцию окисления оксида углерода и углеводородов, родий ускоряет химическую реакцию восстановления оксидов азота. В зазоре между керамическим блоком-носителем и корпусом находится прокладка, фиксирующая блок и компенсирующая его тепловое расширение. Прокладка состоит из специальной проволочной сетки.

Степень каталитического превращения различных компонентов оценивается коэффициентом преобразования K_i . Существует очень узкий диапазон состава смеси, когда количество кислорода, освобождаемого при восстановлении NO_x , достаточно для окисления CO и CH. Наибольшая величина коэффициента преобразования одновременно по трем компонентам (CO, CH и NO_x) достигается при работе ДВС на топливовоздушной смеси с коэффициентом избытка $\alpha = 1$ (стехиометрическая смесь) (рис. 58).

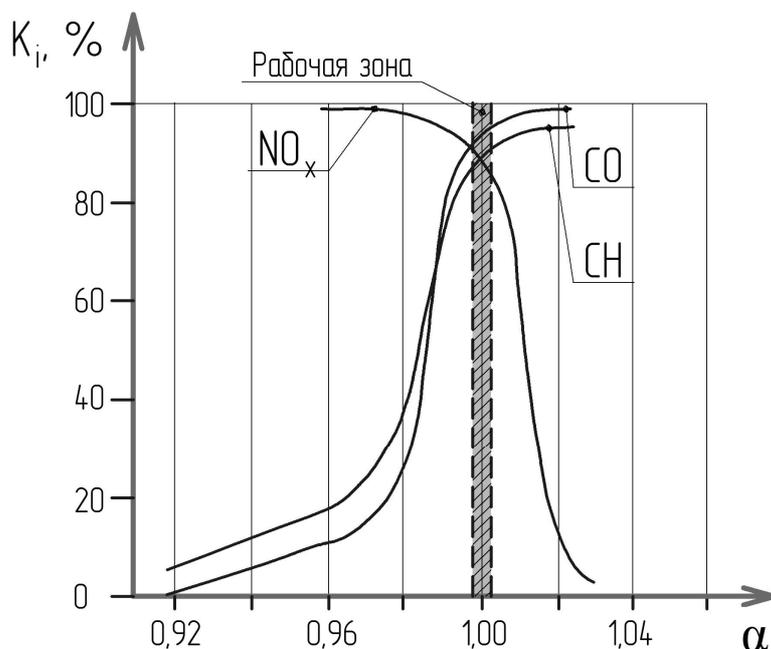


Рис. 58. Зона эффективной работы трёхкомпонентного каталитического нейтрализатора

Вблизи стехиометрической смеси коэффициент преобразования изменяется очень резко, поэтому для эффективной работы нейтрализатора состав смеси должен выдерживаться с высокой точностью.

Условием эффективной работы каталитического нейтрализатора является достижение необходимой температуры. Температура, при которой в нейтрализаторе преобразуется 50% от общего объема вредных компонентов, находится на уровне 250 °С. Рабочая температура нейтрализатора, при которой эффективность его работы достигает 98%, находится в диапазоне 600–800 °С.

Контрольные вопросы

1. Какие токсичные вещества входят в состав отработавших газов бензинового ДВС?
2. От чего зависит концентрация угарного газа и оксидов азота в отработавших газах ДВС?
3. Вследствие чего образуются углеводороды, входящие в состав отработавших газов ДВС?
4. Для чего предназначен каталитический нейтрализатор?
5. Почему каталитические нейтрализаторы бензиновых ДВС называются трёхкомпонентными (бифункциональными)?
6. Какие вещества используются в качестве катализаторов в трёхкомпонентных нейтрализаторах?
7. Какие элементы входят в состав трёхкомпонентного каталитического нейтрализатора ДВС?
8. Какое назначение имеет промежуточный оксидный слой, нанесённый на поверхность сот-ячеек?
9. Почему для эффективной работы нейтрализатора состав смеси должен выдерживаться с высокой точностью?
10. При каких условиях каталитический нейтрализатор работает с максимальной эффективностью?

4. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

4.1. Теоретические основы

4.1.1. ДВС как технический объект управления

Автомобильный ДВС представляет собой систему, состоящую из отдельных подсистем. Все подсистемы связаны между собой и при функционировании образуют единое целое. ДВС выполняет функцию управляемого преобразователя химической энергии топлива в механическую работу (энергию).

Целью управления ДВС является обеспечение заданных значений выходных параметров (показателей), при наложении определенных ограничений на другие параметры. Одновременное получение максимальных мощностных, экономических и экологических показателей невозможно, так как они являются противоречащими друг другу. Достижение цели управления возможно только на основе компромисса. ЭСУД современного ДВС стремится обеспечить максимально безопасную (с точки зрения охраны окружающей среды) работу двигателя, при приемлемых мощности и топливной экономичности. Основное назначение ЭСУД при этом состоит в обеспечении оптимального состава рабочей смеси в цилиндрах ДВС и воспламенение её в определенный момент времени.

Как объект управления ДВС характеризуется входными (управляющими), выходными (управляемыми), внутренними параметрами (параметрами состояния) и внешними (возмущающими) воздействиями (рис. 59).

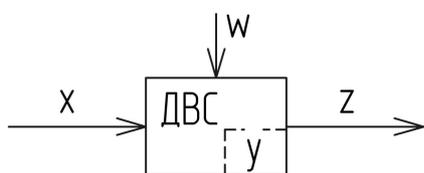


Рис. 59. ДВС как объект управления:
 X – входные (управляющие) параметры;
 Y – внутренние параметры (параметры состояния);
 Z – выходные (управляемые) параметры;
 W – внешние (возмущающие) воздействия

Входные (управляющие) параметры влияют на протекание рабочего процесса в ДВС. Их значения определяются внешними воздействиями на ДВС со стороны водителя или ЭСУД. К их числу относятся: угол отклонения педали акселератора, угол отклонения

дроссельной заслонки, угол опережения зажигания, цикловая подача топлива и т.д. Следует отметить, что задающим воздействием, т.е. воздействием, задающим режим работы ДВС, в данном случае является входной параметр – угол отклонения педали акселератора.

Выходные (управляемые) параметры характеризуют состояние ДВС в рабочем режиме. К ним относятся: частота вращения коленчатого вала, эффективный крутящий момент на валу двигателя, состав отработавших газов и т.д.

Внутренние параметры (параметры состояния) характеризуют рабочие процессы, состояние обеспечивающих систем, конструктивные особенности ДВС.

Внешние (возмущающие) воздействия носят случайный характер и мешают управлению. К ним относят: изменение стандартных атмосферных условий – температуры наружного воздуха, атмосферного давления, влажности и отклонение состава воздуха и топлива от стандартных и т.д.

Управление ДВС нельзя рассматривать в отрыве от управления автомобилем. Скоростные и нагрузочные режимы работы ДВС зависят от режимов движения автомобиля в различных условиях эксплуатации. Водитель изменяет скоростной и нагрузочный режимы двигателя, воздействуя на передаточное отношение трансмиссии автомобиля и педаль акселератора. Выходные характеристики ДВС при этом зависят в основном от количества и состава топливо-воздушной смеси, угла опережения зажигания, управление которыми осуществляется автоматически с помощью ЭСУД (рис. 60).

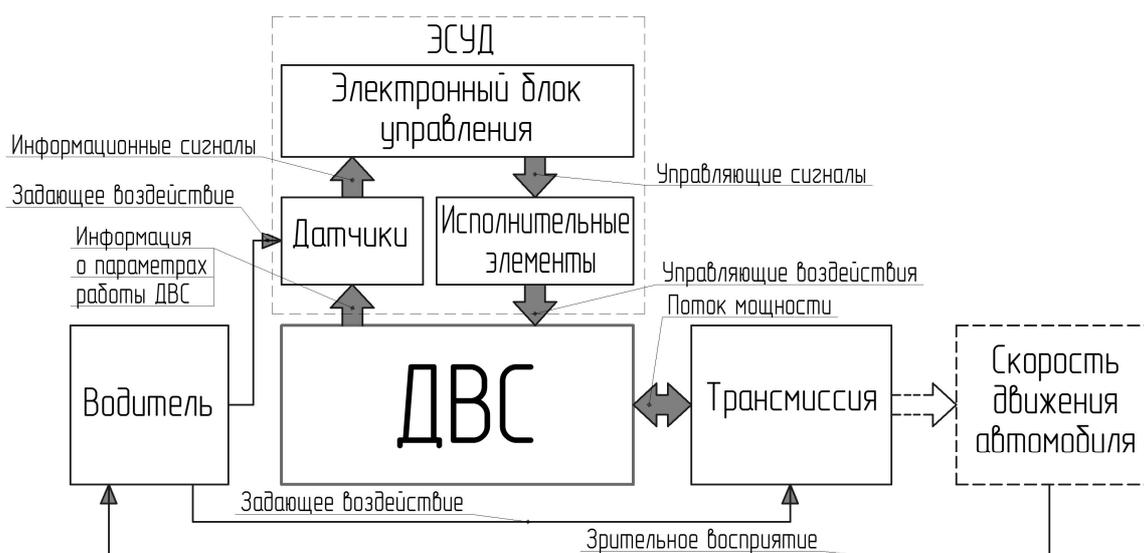


Рис. 60. Управление ДВС при движении автомобиля

Для ДВС характерна периодическая повторяемость рабочих циклов. Поэтому важным принципом управления ДВС является цикличность управления. Это обуславливает необходимость согласования частотных параметров управляющих воздействий с частотой рабочих циклов ДВС (накладывает жесткие требования к быстродействию ЭСУД).

Как объект управления ДВС является нелинейным, так как протекающие в ДВС физико-химические, тепловые, газодинамические и другие процессы не удаётся достаточно точно описать системой линейных дифференциальных уравнений в силу нелинейности многих связей.

ДВС представляет собой многопараметрический многомерный объект управления, так как число входных и выходных параметров у него больше одного, и каждый входной параметр воздействует на два и более выходных. В таком случае система управления должна быть многопараметрической многомерной.

Каждое управляющее воздействие оказывает весьма сложное влияние на работу и многие выходные показатели ДВС. Для получения желаемой совокупности выходных показателей, т.е. для оптимального управления, необходимо совместно выбирать значения ряда управляющих воздействий. Управление, при котором выбор одного из управляющих воздействий зависит от выбора других управляющих воздействий, называют связанным управлением.

Автомобильный ДВС в эксплуатации работает преимущественно на неустановившихся режимах, поэтому как объект управления является нестационарным (динамическим).

Характер протекания процессов в ДВС существенно зависит от направления изменения режимных параметров, следовательно, ДВС является несимметричным объектом управления.

В каждом конкретном ДВС в силу воздействия ряда случайных факторов последовательные рабочие циклы протекают неодинаково. Случайным образом меняется и ряд внешних возмущений. Таким образом, ДВС следует рассматривать как стохастический объект управления.

Из вышесказанного видно, что автомобильный ДВС является сложным объектом управления.

4.1.2. Особенности функционирования электронных систем управления автомобильных ДВС

Для построения оптимальных адаптивных управляющих систем требуется наличие математических моделей объекта управления. Из-за сложности конструкции и протекающих при работе ДВС процессов, наличия допусков на размеры деталей и т.д., построение общих, достаточно точных и полных, математических моделей ДВС в традиционном аналитическом виде затруднительно (это характерно для большинства сложных технических систем). Выход находят в построении эмпирических зависимостей между параметрами ДВС и представлении их в виде таблиц. Так как ДВС является многомерным объектом управления, то таблицы зависимостей между параметрами должны быть также многомерными. Такие таблицы и их графическое представление называют характеристическими картами. Их получают в процессе стендовых испытаний автомобильных ДВС при реализации всего диапазона внешних нагрузок и частоты вращения коленчатого вала. Многомерные, полученные в ходе таких факторных экспериментов, таблицы–карты заносят в память ЭБУ соответствующего ДВС. Двухмерная таблица–характеристическая карта может быть наглядно представлена в виде трехмерного графика (диаграммы). Пример характеристической карты в виде трехмерного графика представлен на рис. 61.

Характеристические карты представляют основную информацию относительно взаимосвязанных характеристик ДВС. Для полноценного управления ДВС на разных режимах необходимо иметь множество карт, которые хранятся в постоянной памяти ЭБУ.

В основе программного управления каждым из важнейших управляющих воздействий в ДВС лежит так называемая базовая программа управления (базовая таблица – характеристическая карта), по которой определяется необходимое значение управляющего параметра в зависимости от определенных режимных параметров. Так, управление подачей топлива с опережением зажигания и рядом других управляющих воздействий на частичных нагрузках задается в виде базовых матриц в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки для прогретого ДВС, работающего в установившемся режиме. Для промежуточных значений режимных параметров, не входящих в матрицу, значения управляющих воздействий находятся при помощи интерполяции.

Для оценки нагрузки в рассматриваемой ЭСУД используют косвенный параметр – разряжение во впускном коллекторе после дроссельной заслонки.

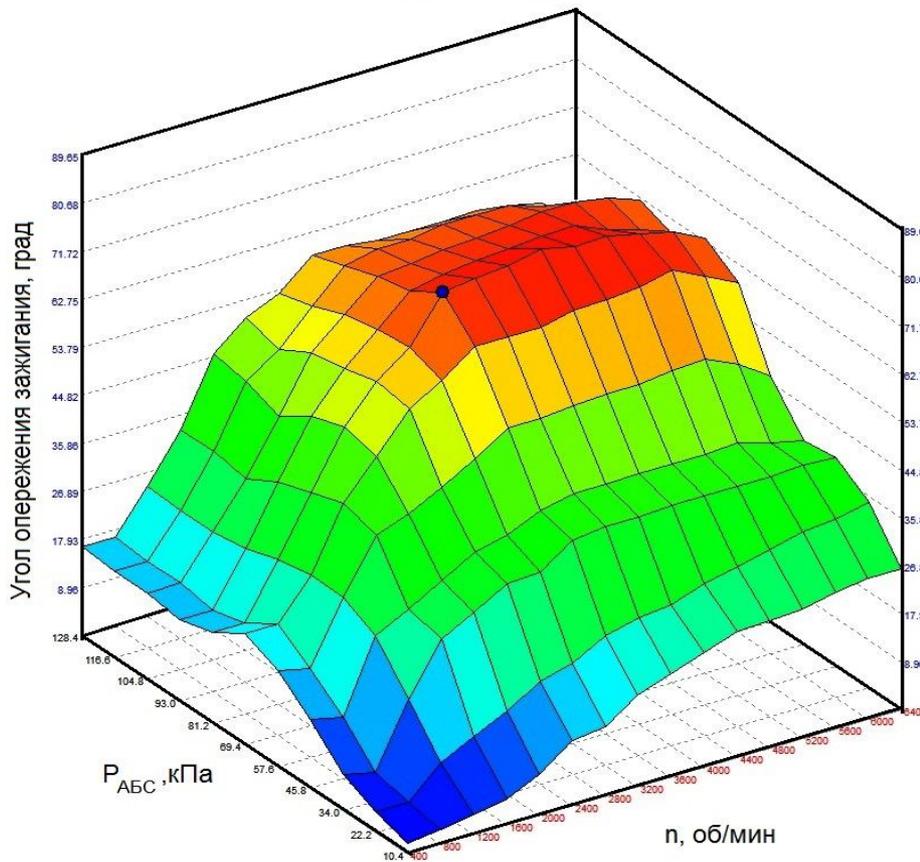


Рис. 61. Пример характеристической карты в виде трехмерного графика: зависимость угла опережения зажигания от частоты вращения коленчатого вала n и давления во впускном коллекторе $P_{АБС}$

При построении программного управления ДВС помимо нагрузочно-скоростного режима необходимо учитывать ряд дополнительных факторов.

При возникновении каких-либо возмущающих факторов или при работе ДВС на неуставившихся режимах управление формируют путем коррекции управления, определенного по базовой матрице с использованием информации корректирующих двух- и одномерных матриц или коэффициентов. Для некоторых управляющих воздействий коррекция управления осуществляется с учетом пяти-шести возмущающих факторов и более.

На отдельных режимах (холостой ход, принудительный холостой ход, пуск и т.п.) управление осуществляется по специальным алгоритмам и отдельным программам.

При использовании корректирующих матриц и коэффициентов применяют три метода определения итогового значения управляющего воздействия: аддитивный, мультипликативный и смешанный.

Аддитивный метод формирования управления – итоговое значение управляющего параметра рассчитывается суммированием базового значения со значением необходимой коррекции с учетом ряда факторов.

Мультипликативный метод формирования управления – конечное значение управляющего параметра. Он рассчитывается путем умножения базового значения управляющего параметра на корректирующие коэффициенты.

Смешанный метод формирования управления предполагает сочетание аддитивного и мультипликативного методов. При использовании данного метода можно определять итоговое значение управляющего параметра с учетом большего числа факторов.

Аддитивный метод, как правило, применяется для определения итогового значения угла опережения зажигания. При управлении цикловой подачей топлива в основном используется смешанный метод формирования управления.

Оптимальное управление ДВС в процессе эксплуатации только на основании информации, представленной в виде характеристических карт, невозможно, так как происходит изменение состояния ДВС вследствие износа деталей, появления отложений, нарушения герметичности уплотнений и т.д. Поэтому управляющие воздействия, подобранные для нового ДВС, не будут оставаться оптимальными в процессе эксплуатации. В силу технологического разброса параметры выпускаемых ДВС случайным образом изменяются также в определенных пределах. В результате управляющие воздействия, подобранные для одного нового ДВС, могут оказаться неоптимальными для других новых ДВС той же модели. Например, фактическое содержание воздуха в рабочей смеси может отличаться от расчетного или установка расчетного угла опережения зажигания может привести к возникновению детонации при сгорании рабочей смеси. Из-за этого в процессе управления ДВС используют обратные связи, т.е. ЭСУД осуществляет контроль фактических параметров ДВС, а в случае необходимости корректирует управляющие параметры. При управлении ДВС используется сочетание программного управления с обратными связями.

Как правило, для поддержания требуемых параметров ДВС с учетом изменения его состояния в течение всего срока эксплуатации используют управление с обратными связями по сигналам датчиков кислорода и датчика детонации.

По сигналу датчика кислорода оценивается содержание кислорода в отработавших газах, а по содержанию кислорода, в свою очередь, определяется отклонение от стехиометрического состава сгорающей топливовоздушной смеси. В случае необходимости ЭБУ производит корректировку соотношения «воздух–топливо».

По сигналу датчика детонации выявляется наличие детонационных явлений при сгорании рабочей смеси. При возникновении детонации ЭБУ производит коррекцию установленного угла опережения зажигания в сторону уменьшения.

Современные адаптивные микропроцессорные системы управления могут находить оптимальные значения управляющих воздействий и адаптировать сами программы и калибровки матриц управления в процессе эксплуатации в связи с изменением состояния двигателя, датчиков и эксплуатационных условий.

4.1.3. Общие сведения об устройстве и функционировании ЭБУ ЭСУД

Структурная схема ЭСУД ДВС BOSCH ME 7.4.4. показана на рис. 62. В состав ЭСУД входят: комплект датчиков (сенсорная периферия), микропроцессорный ЭБУ, исполнительные элементы (исполнительная периферия) и соединительные проводники.

ЭБУ является центральным и самым сложным элементом ЭСУД. ЭБУ получает информацию от датчиков, обрабатывает её в соответствии с определенными алгоритмами (определяет рабочий режим ДВС, производит расчет параметров, необходимых управляющих сигналов и т.д.) и формирует управляющие сигналы, поступающие на исполнительные устройства различных функциональных подсистем ДВС. Исполнительные устройства, в свою очередь, реализуют управляющие воздействия, обеспечивая оптимальную работу ДВС при заданном уровне показателей.

Конструктивно ЭБУ объединяет в себя аппаратное и программное обеспечения.

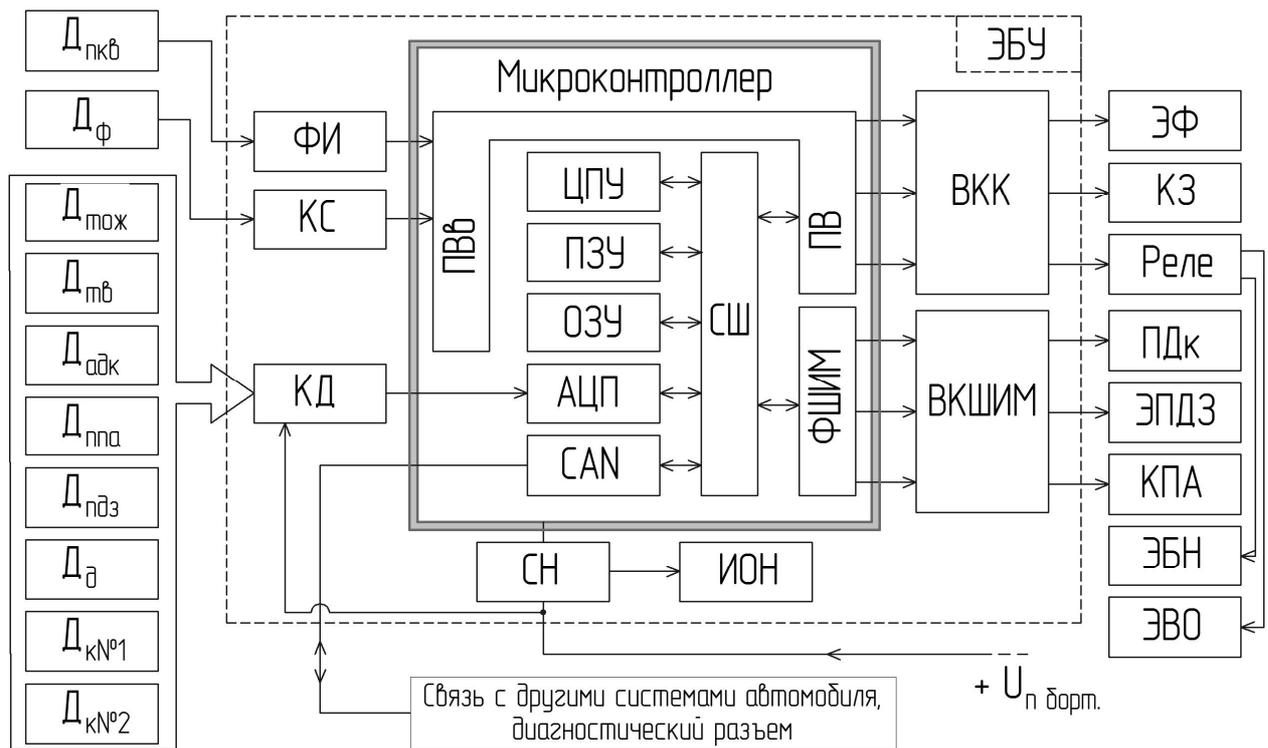


Рис. 62. Структурная схема ЭСУД BOSCH 7.4.4.:

Датчики: $D_{пкв}$ – датчик положения коленчатого вала; $D_{ф}$ – датчик фазы; $D_{тож}$ – датчик температуры охлаждающей жидкости; $D_{тв}$ – датчик температуры воздуха; $D_{адк}$ – датчик абсолютного давления; $D_{ппа}$ – датчик положения педали акселератора; $D_{ндз}$ – датчик положения дроссельной заслонки; $D_{д}$ – датчик детонации; $D_{к№1}$, $D_{к№2}$ – датчики кислорода соответственно до и после каталитического нейтрализатора.

Элементы ЭБУ: $ФИ$ – формирователь импульсов; $КС$ – каскад согласования; $КД$ – коммутатор сигналов; $ПВв$ – порты ввода; $ПВ$ – порты вывода; $ЦПУ$ – центральное процессорное устройство; $ПЗУ$ – постоянное запоминающее устройство; $ОЗУ$ – оперативное запоминающее устройство; $АЦП$ – аналогово-цифровой преобразователь; CAN – контроллер сетевого интерфейса; $СШ$ – системная шина; $ФШИМ$ – широтно-импульсный модулятор; $ВКК$ – выходные каскады коммутационных сигналов; $ВКШИМ$ – выходные каскады сигналов ШИМ.

Исполнительные элементы: $ЭФ$ – электромагнитные форсунки; $КЗ$ – четырехвыводная катушка зажигания; $Реле$ (двойное реле; реле включения электровентиляторов системы охлаждения ДВС); $ПДк$ – подогреватели датчиков кислорода; $ЭПДЗ$ – электродвигатель привода дроссельной заслонки; $КПА$ – электромагнитный клапан продувки адсорбера; $ЭБН$ – электрический топливный насос; $ЭВО$ – электровентилятор системы охлаждения ДВС

Аппаратное обеспечение ЭБУ включает ряд электронных компонентов – составных частей электронной схемы. Современный уровень интеграции элементов в микросхемах позволяет объединить конструктивно в одном блоке микропроцессорный контроллер (микроконтроллер), входные и выходные каскады, устройства согласования и т.д. Элементы электронной схемы ЭБУ размещены на печатной плате, большая часть элементов выполнена по технологии *SMD* (*Surface-Mounted Device* – плата с поверхностным монтажом). Печатная плата располагается в корпусе из металла. ЭБУ соединяется с датчиками, исполнительными элементами и источником питания через многоштырьковый разъем.

Основным элементом ЭБУ является микроконтроллер. В состав микроконтроллера входят: центральное процессорное устройство (ЦПУ), перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), контроллер сетевого интерфейса CAN; шины адресов, данных и управления (системная шина) (СШ); формирователь сигналов с широтно-импульсной модуляцией (ФШИМ), порты ввода – вывода (ПВв, ПВ) и т.д. (см. рис. 59).

В ПЗУ хранится программное обеспечение, необходимое для работы ЭСУД (последовательность команд, матрицы, таблицы, значения поправочных коэффициентов, коды противоугонного устройства и др.). Данная память не нуждается в электропитании для сохранения записанной информации. ОЗУ используется в ЦПУ контроллера при работе ЭБУ. По мере необходимости в ОЗУ записывается информация (результаты промежуточных вычислений, коды неисправностей и др.). Для сохранения записанной информации необходимо наличие электропитания, при отключении электропитания хранящиеся в ОЗУ данные стираются.

Передача информации в контроллере осуществляется через СШ (системную шину). СШ связывает все элементы микроконтроллера в единое целое. Через СШ ЦПУ обращается к ОЗУ и ПЗУ. К СШ также подключены АЦП, контроллер сетевого интерфейса CAN, порты ввода – вывода, формирователь сигналов с ШИМ и т.д.

Входные сигналы с датчиков должны быть предварительно обработаны: преобразованы в сигналы с кодовой модуляцией, воспринимаемые ЦПУ. Аналоговые сигналы с датчиков поступают через коммутатор сигналов (аналоговый мультиплексор) (КД) на вход АЦП микроконтроллера. АЦП служит для преобразования аналоговых сигналов, поступающих с датчиков, в сигналы с кодовой

модуляцией (цифровые сигналы). Импульсные выходные сигналы датчиков положения коленчатого вала и датчика фазы поступают на специальные входные каскады ЭБУ, соответственно на формирователь импульсов (ФИ) и каскад согласования (КС). Импульсы с индуктивного датчика положения коленчатого вала, проходя через ФИ, преобразуются в прямоугольные импульсы с определенной амплитудой, в КС происходит коррекция уровня прямоугольных импульсов с датчика фазы. После предварительной обработки эти сигналы поступают в микроконтроллер.

ЦПУ считывает последовательность команд, содержащихся в ППЗУ, исполняет их: обрабатывает данные, поступающие через СШ с входных периферийных устройств и памяти; передаёт результаты обработки на выходные периферийные устройства – формирует управляющие сигналы, поступающие на исполнительные элементы, входящие в состав функциональных подсистем ДВС.

Управляющие сигналы могут быть коммутирующими и сигналами с широтно – импульсной модуляцией (ШИМ). Сигнал с ШИМ представляет собой повторяющиеся прямоугольные импульсы с постоянным периодом следования и переменной скважностью. Для формирования управляющих сигналов с ШИМ предназначен ФШИМ.

Коммутирующие сигналы используются для включения и выключения исполнительных элементов таких, как электромагнитные форсунки, катушки зажигания и т.д. Сигналы с ШИМ используются в случае необходимости варьирования средней силы тока, протекающего через исполнительные элементы (например, электродвигатель привода дроссельной заслонки).

Для согласования выходных сигналов с характеристиками входов исполнительных элементов в состав ЭБУ входят выходные каскады (ВК). ВК выполнены с использованием мощных силовых транзисторов (биполярных, полевых и (или) IGBT) и имеют защиту от короткого замыкания выхода на «массу» или положительный полюс источника питания.

ЭБУ обменивается данными с другими электронными системами автомобиля: антиблокировочной системой тормозов, системой стабилизации траектории, автоматической коробкой передач, системами пассивной безопасности, климат-контроля, противоугонной и др. Обмен данными производится посредством CAN-шины (*Controller Area Network*), объединяющей отдельные блоки управления автомобиля в общую систему. Для подключения к

CAN-шине в микроконтроллер ЭБУ интегрирован контроллер сетевого интерфейса.

Для питания микроконтроллера и других элементов ЭБУ используется внутренний стабилизатор напряжения. Для питания датчиков, подключенных к ЭБУ, используется встроенный источник стабильного опорного напряжения +5В.

Программное обеспечение ЭБУ объединяет два модуля – функциональный и диагностический. Функциональный модуль предназначен для обработки и анализа информации, получаемой от датчиков, расчета и формирования управляющих воздействий на исполнительные устройства. Диагностический модуль включает в себя специальные алгоритмы, в соответствии с которыми при работе ДВС контролируются входные и выходные сигналы ЭБУ, выявляются сбои и погрешности в работе системы. Для обеспечения работоспособности ДВС при отказе определенных элементов ЭСУД в функциональном модуле предусмотрены дополнительные обходные алгоритмы управления.

4.1.4. Работа ЭСУД при различных режимах работы ДВС

Условия работы автомобильного ДВС очень разнообразны, и его параметры изменяются в широких пределах. ЭСУД должна обеспечивать управление на всех возможных режимах работы ДВС. При работе ДВС ЭСУД по специальным алгоритмам производит идентификацию режимов работы двигателя и осуществляет выбор и реализацию способов управления рабочими процессами.

Различают следующие основные режимы работы ДВС:

- 1) пуска;
- 2) продувки цилиндров;
- 3) прогрева двигателя;
- 4) частичных нагрузок;
- 5) ускорения;
- 6) замедления;
- 7) полной мощности;
- 8) холостого хода;
- 9) принудительного холостого хода;
- 10) ограничения максимальной частоты вращения.

Работа ДВС на данных режимах обеспечивается ЭСУД и описана ниже.

1. Режим пуска ДВС.

Основной задачей, реализуемой ЭСУД на режиме пуска, является запуск ДВС с минимизацией времени пуска и количества выбросов токсичных компонентов, содержащихся в отработавших газах.

При включении зажигания ЭБУ включает реле топливного насоса, при этом насос создает давление в магистрали подачи топлива форсунками. Первоначальный впрыск топлива происходит, когда коленчатый вал начинает прокручиваться стартером. При этом в ЭБУ начинает поступать сигнал (импульсы) от датчика положения коленчатого вала. При наличии данного сигнала от ЭБУ на форсунки поступают управляющие сигналы для ускорения запуска ДВС, при этом осуществляется одновременный (параллельный) впрыск топлива всеми форсунками. После начала вращения коленчатого вала ЭСУД работает в пусковом режиме, пока частота вращения не превысит определенное значение.

В течение всего процесса пуска ЭБУ осуществляет расчет количества впрыскиваемого форсунками топлива, учитывая информацию, поступающую от датчиков температуры охлаждающей жидкости, воздуха. ЭБУ определяет необходимое для пуска соотношение воздуха и топлива. Как правило, при пуске холодного ДВС ЭСУД обеспечивает подачу во впускной коллектор повышенного (избыточного) количества топлива. Повышенное количество топлива, впрыскиваемого во впускной коллектор при пуске холодного ДВС, обусловлено формированием топливной пленки на внутренних стенках впускного коллектора из-за низкой испаряемости топлива и необходимостью получения топливо-воздушной смеси с необходимым коэффициентом избытка воздуха. Состав подаваемой в цилиндры ДВС топливовоздушной смеси в данном случае определяется не количеством поданного топлива, а количеством той её части, которая испарилась. Следует отметить, что количество топлива, которое необходимо подать во впускной коллектор и доля топлива из впускной коллектора, которая поступает в цилиндры, рассчитывается ЭБУ на данном режиме лишь ориентировочно. Непосредственно после начала вращения коленчатого вала вплоть до завершения режима пуска по мере увеличения суммарного числа оборотов осуществляется постепенное уменьшение порций впрыскиваемого топлива.

ЭСУД осуществляет также согласование параметров зажигания с параметрами процесса пуска. Угол опережения зажигания

регулируется в зависимости от температуры охлаждающей жидкости и частоты вращения коленчатого вала ДВС.

После пуска двигателя (частота вращения коленчатого вала превышает определенное значение) ЭСУД переходит в рабочий режим.

2. Режим продувки цилиндров.

При полном нажатии на педаль акселератора при прокручивании коленчатого вала ДВС стартером активируется режим продувки цилиндров. От ЭБУ подаётся управляющий сигнал на электропривод дроссельной заслонки, происходит её полное открытие. При этом на форсунки управляющие сигналы от ЭБУ не поступают. Осуществляется удаление скопившегося в цилиндрах топлива после неудачных попыток пуска.

3. Режим прогрева ДВС.

После пуска холодного ДВС ЭБУ определенное время будет управлять системой подачи топлива в режиме открытого цикла – без обратной связи по сигналу датчика кислорода. На этом режиме не учитываются сигналы от датчиков кислорода. Расчёт длительности управляющих импульсов, поступающих на форсунки, происходит по сигналам датчиков положения коленчатого вала, абсолютного давления во впускном коллекторе, температуры охлаждающей жидкости и воздуха, положения педали акселератора, дроссельной заслонки.

На рассматриваемом режиме состав топливовоздушной смеси может отличаться от стехиометрического, а угол опережения зажигания – от оптимального (с точки зрения минимизации расхода топлива и получения максимального крутящего момента). Во время прогрева ЭСУД должна обеспечивать устойчивую работу двигателя, минимальное время нагрева датчиков кислорода и каталитического нейтрализатора для уменьшения выбросов вредных веществ, содержащихся в отработавших газах. Нейтрализатор не функционирует, пока не прогреется до необходимой температуры. Быстрое приведение каталитического нейтрализатора в рабочее состояние обеспечивается воздействием на угол опережения зажигания и параметры впрыска топлива. Сочетание богатой рабочей смеси с более поздним зажиганием при прогреве ДВС повышает температуру отработавших газов и соответственно сокращает период прогрева нейтрализатора. В данном режиме работы ДВС с целью ускорения прогрева как самого ДВС, так и нейтрализатора ЭБУ

устанавливает повышенную частоту вращения коленчатого вала на холостом ходу.

ЭСУД будет оставаться в режиме открытого цикла до тех пор, пока не будут выполнены следующие условия: сигнал первого датчика кислорода начал изменяться (произошел прогрев датчика кислорода); температура охлаждающей жидкости стала больше заданного значения; двигатель проработал определенное количество времени после пуска.

При выполнении необходимых условий происходит переход ЭСУД к управлению ДВС в режиме замкнутого цикла – с обратной связью по сигналу датчика кислорода. При данном режиме обеспечивается коэффициент избытка воздуха, равный единице (стехиометрический состав топливовоздушной смеси). Угол опережения зажигания при этом устанавливается в соответствии с частотой вращения коленчатого вала, давлением во впускном коллекторе и температуры охлаждающей жидкости.

4. Режим частичных нагрузок.

При работе прогретого ДВС с частичной нагрузкой ЭСУД работает в режиме замкнутого цикла – с обратной связью по сигналу датчика кислорода, при этом в цилиндры подается топливо – воздушная смесь стехиометрического состава.

Угол опережения зажигания устанавливается в соответствии с частотой вращения коленчатого вала, давлением во впускном коллекторе и температуры охлаждающей жидкости, с коррекцией по сигналу датчика детонации.

5. Режим ускорения.

ЭБУ отслеживает резкие изменения положения педали акселератора и обеспечивает подачу дополнительного количества топлива при резком нажатии на педаль акселератора за счет увеличения продолжительности управляющих импульсов, поступающих на форсунки. Если возросшая потребность в топливе превышает определенное значение, то ЭБУ может добавить асинхронные импульсы управления форсунками в промежутках между синхронными импульсами. Здесь управление осуществляется в режиме разомкнутого цикла – без обратной связи по сигналу датчика кислорода.

Угол опережения зажигания устанавливается в соответствии с частотой вращения коленчатого вала, давлением во впускном коллекторе и температуры охлаждающей жидкости, с коррекцией по сигналу датчика детонации.

6. Режим замедления.

При быстром уменьшении нагрузки ДВС подача топлива значительно ограничивается, так как в данном режиме происходит высвобождение топлива, накопившегося в виде пленки на стенках впускного трубопровода.

7. Режим полной мощности.

Условием режима полной мощности является достижение дроссельной заслонкой такого положения, при котором её дальнейшее открытие не приводит к увеличению циклового наполнения, а следовательно, возможности количественного управления мощностью ДВС исчерпаны, и требуется переход на качественное управление. Для развития полной мощности ЭБУ увеличивает подачу топлива, обогащая топливовоздушную смесь. Управление осуществляется в режиме разомкнутого цикла – без обратной связи по сигналу датчика кислорода.

Угол опережения зажигания устанавливается в соответствии с частотой вращения коленчатого вала, давления во впускном коллекторе и температуры охлаждающей жидкости, с коррекцией по сигналу датчика детонации.

8. Режим холостого хода.

В режиме холостого хода ЭСУД в целях экономии топлива поддерживает минимальную устойчивую частоту вращения коленчатого вала ДВС.

Особенностью работы ДВС на холостом ходу является разрыв потока мощности, циркулирующего между ДВС и трансмиссией. Эффективная мощность ДВС в этом случае равна нулю, однако развиваемая индикаторная мощность должна не только компенсировать механические потери в ДВС, поддерживая требуемую частоту вращения коленчатого вала, но и обеспечивать привод вспомогательных агрегатов. Требуемая величина индикаторной мощности ДВС в режиме холостого хода варьируется и может достигать высоких значений, что может отразиться на частоте вращения коленчатого вала ДВС. Для поддержания требуемой частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу ЭБУ изменяет положение электроприводной дроссельной заслонки, меняя тем самым цикловое наполнение, а также варьирует угол опережения зажигания в заданных пределах. Чтобы ДВС устойчиво работал на холостом ходу при подключении к нему мощной нагрузки (например, компрессора кондиционера), сначала от выключателя нагрузки в ЭБУ ДВС поступает сигнал о предстоящем увеличении нагрузки, по

которому ЭБУ увеличивает частоту вращения коленчатого вала ДВС, и лишь затем включается нагрузка.

9. Режим принудительного холостого хода.

На принудительном холстом ходу коленчатый вал ДВС вращается за счёт кинетической энергии автомобиля. Автомобиль движется с включенной передачей и отпущенной педалью акселератора. В режиме принудительного холостого хода ЭБУ может кратковременно прекратить подачу управляющих импульсов на форсунки ДВС. Для рассматриваемой ЭСУД это происходит при выполнении следующих условий: температура охлаждающей жидкости выше 293 К; частота вращения коленчатого вала выше 1800 мин⁻¹; скорость автомобиля более 20 км/ч; педаль акселератора полностью отпущена.

Возобновление подачи топлива произойдёт при выполнении любого из следующих условий: частота вращения коленчатого вала ниже 1600 мин⁻¹; скорость автомобиля меньше 20 км/ч; нажата педаль акселератора; выключено сцепление.

10. Режим ограничения максимальной частоты вращения коленчатого вала.

При достижении предельной частоты вращения коленчатого вала ЭБУ отключает подачу топлива для предотвращения возникновения возможных повреждений ДВС. Подача топлива возобновляется, как только частота вращения коленчатого вала станет ниже предельно допустимой.

4.1.5. Управление по сигналу датчика кислорода (работа ЭСУД в режиме обратной связи по датчику кислорода)

Для эффективной работы трёхкомпонентного каталитического нейтрализатора должен выдерживаться с высокой степенью точности состав топливоздушная смеси с коэффициентом избытка $\alpha = 1$. Для поддержания требуемого состава смеси применяется управление в режиме замкнутого цикла – с обратной связью по сигналу датчика кислорода.

Режим замкнутого цикла активируется при осуществлении ряда условий:

- датчик кислорода прогрет до необходимой температуры;
- температура охлаждающей жидкости больше определенного значения;

- с момента запуска ДВС проработал определенный период времени, зависящий от температуры охлаждающей жидкости в момент пуска;

- ДВС не работает ни в одном из следующих режимов: пуск, ускорение, замедление, принудительный холостой ход, полная мощность.

В режиме работы с обратной связью по сигналу датчика кислорода ЭБУ первоначально рассчитывает длительность управляющих импульсов, поступающих на форсунки так же, как и в режиме разомкнутого цикла. Далее рассчитанная продолжительность управляющих импульсов дополнительно корректируется по сигналу датчика кислорода. Увеличение либо уменьшение продолжительности управляющих импульсов осуществляется за счет изменения значения специального корректирующего коэффициента K_λ .

Сигнал с датчика кислорода поступает в ЭБУ, где сравнивается с опорным напряжением $V_{on} = 0,45$ В. Превышение напряжения сигнала датчика кислорода опорного уровня воспринимается ЭБУ как признак обогащенной топливовоздушной смеси. В этом случае ЭБУ сначала скачкообразно, а затем постепенно (с заданной скоростью) уменьшает длительность управляющих импульсов, поступающих на форсунки. Чем больше напряжение на выходе датчика кислорода больше опорного, тем больше уменьшается длительность управляющих форсунками импульсов, тем беднее становится смесь. В результате выходное напряжение датчика кислорода снижается и становится ниже опорного. ЭБУ воспринимает это в качестве признака бедной смеси и сначала скачкообразно, а затем постепенно увеличивает длительность управляющих форсунками импульсов. В результате будет происходить обогащение топливовоздушной смеси до тех пор, пока напряжение на выходе датчика кислорода вновь не увеличится. Таким образом, состав топливовоздушной смеси постоянно колеблется между обедненным и обогащенным состояниями. В данном случае имеет место релейная стабилизация состава топливовоздушной смеси, которая позволяет поддерживать стехиометрический состав с точностью до 1–5%. Пример временных диаграмм работы контура обратной связи по сигналу датчика кислорода показан на рис. 63.

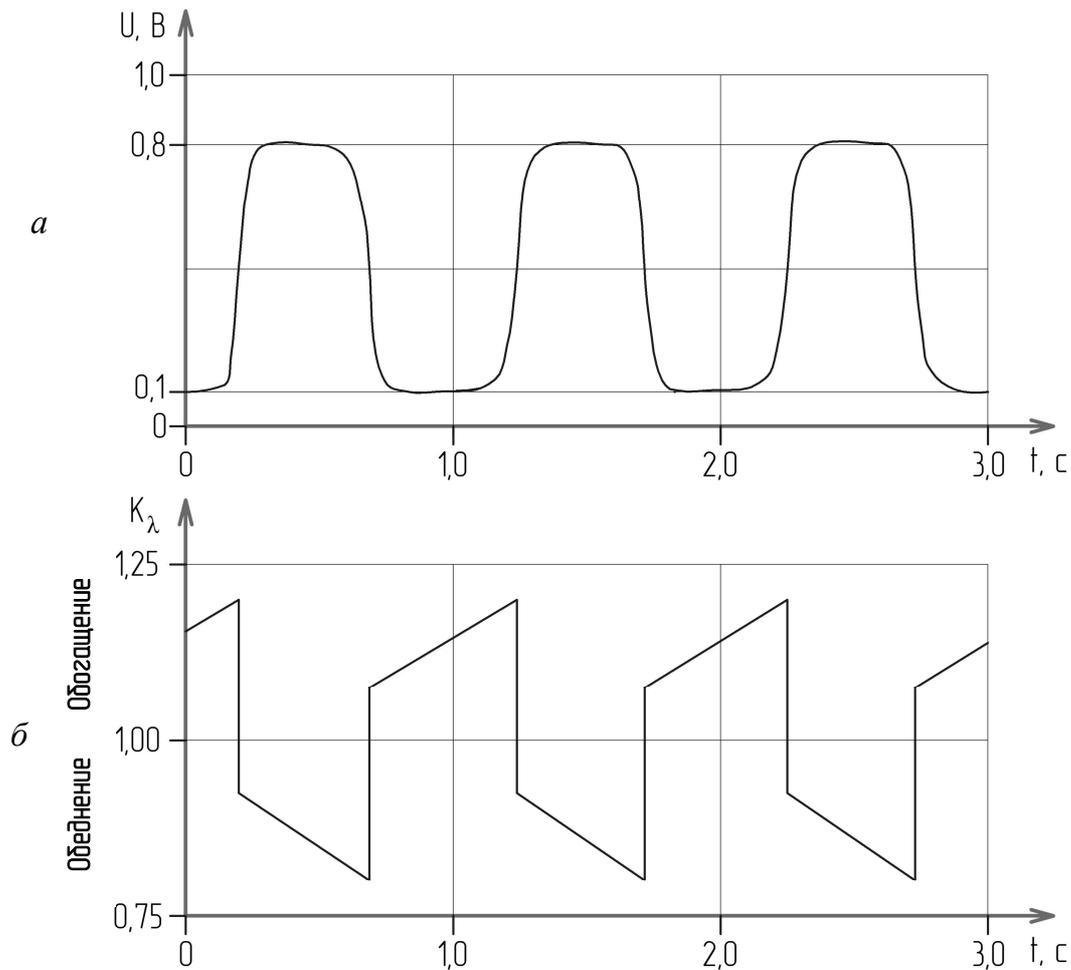


Рис. 63. Пример временных диаграмм работы контура обратной связи по сигналу датчика кислорода:

a – изменение выходного напряжения первого датчика кислорода;

б – изменение значения корректирующего коэффициента K_λ

Различают два вида корректировок по сигналу датчика кислорода продолжительности управляющих импульсов, поступающих на форсунки: текущая (кратковременная) корректировка и корректировка самообучением (долговременная корректировка).

Текущая корректировка рассчитывается по показаниям датчика кислорода и может изменяться относительно быстро, чтобы компенсировать текущие отклонения состава смеси от стехиометрического. Данная корректировка должна находиться в заданном диапазоне.

Корректировка самообучением рассчитывается на основе текущей корректировки и изменяется относительно медленно. Коэффициент корректировки самообучением изменяется в случае, если текущая корректировка выходит за допустимый диапазон.

Целью данной корректировки является компенсация влияния на состав топливовоздушной смеси разброса характеристик ЭСУД, допусков при изготовлении ДВС, а также в результате отклонений параметров ДВС и элементов ЭСУД, возникающих при эксплуатации. Коэффициент корректировки самообучением – результат адаптации ЭСУД к фактическому состоянию ДВС.

Текущая корректировка обнуляется при каждом выключении зажигания. Корректировка самообучением хранится в памяти ЭБУ до отключения электропитания.

Полученные значения коэффициентов корректировки самообучением учитываются при расчете длительности управляющих форсунками импульсов и при работе ЭСУД в режиме разомкнутого цикла.

4.1.6. Управление углом опережения зажигания (работа ЭСУД в режиме обратной связи по датчику детонации)

Значения угла опережения зажигания, обеспечивающие наиболее эффективную работу ДВС, близки к предельным, на которых возникает детонация. При обнаружении детонации по сигналу датчика детонации угол опережения зажигания уменьшается.

Основное управление опережением зажигания строится как разомкнутое с определением управляющих воздействий по базовой и корректирующим матрицам. При изменении качества топлива, состояния ДВС и внешних условий возможно появление детонационного сгорания. Нарушение сгорания регистрируется при помощи датчика детонации по увеличению вибраций поверхности блока цилиндров при возникновении детонационного сгорания. При выявлении детонации ЭБУ сначала резко уменьшает угол опережения зажигания, а затем постепенно увеличивает до первоначального значения. Если вновь возникает детонация, то этот процесс повторяется. Величина уменьшения угла опережения зажигания устанавливается в зависимости от интенсивности детонации и осуществляется для того цилиндра, где возникло нарушение сгорания. При такой работе не исключается периодическое возникновение детонации, но количество циклов с детонацией значительно сокращается. Пример временной диаграммы работы контура обратной связи по сигналу датчика детонации в одном из цилиндров ДВС показан на рис. 64.

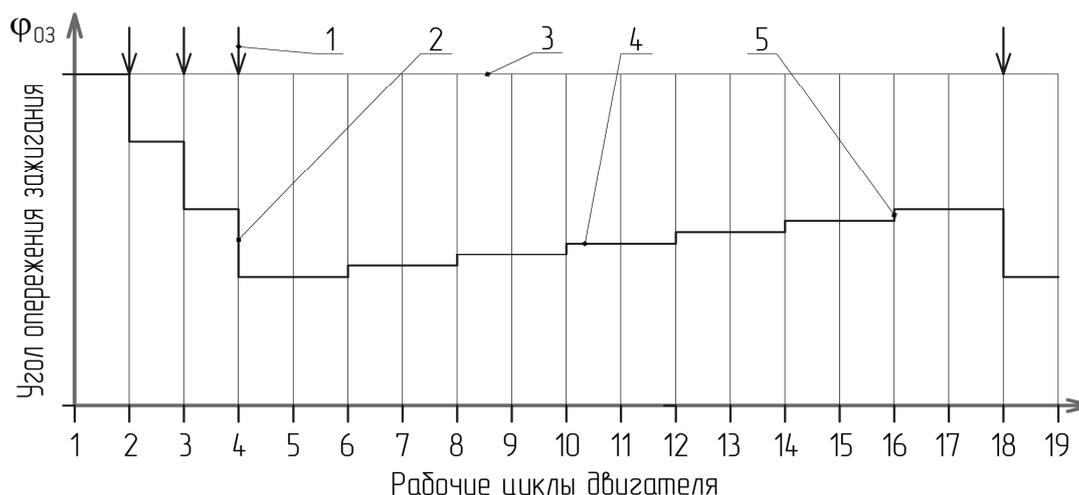


Рис. 64. Пример временной диаграммы работы контура обратной связи по сигналу датчика детонации в одном из цилиндров бензинового ДВС:

- 1 – сигнал о появлении детонации;
- 2 – уменьшение значения угла опережения зажигания $\varphi_{оз}$ при появлении детонации;
- 3 – значение $\varphi_{оз}$, устанавливаемое по программе;
- 4 – период сохранения значения $\varphi_{оз}$;
- 5 – шаг возврата $\varphi_{оз}$ к исходному значению

Для дальнейшего сокращения числа циклов с детонацией и улучшения управления опережением зажигания на неустановившихся режимах в контур ограничения детонации дополнительно включена обучающаяся корректирующая матрица. В этой матрице запоминаются значения минимально необходимого снижения угла опережения зажигания для работы без детонации в зависимости от режимных параметров ДВС и внешних условий. Уменьшение работы ДВС с заниженными углами опережения зажигания способствует улучшению топливной экономичности автомобиля. Данные в обучающейся корректирующей матрице периодически обновляются.

4.2. Исследование функционирования ЭСУД BOSCH 7.4.4.

4.2.1. Исследование влияния значений абсолютного давления во впускном коллекторе и частоты вращения коленчатого вала на продолжительность управляющих импульсов, подаваемых на форсунки

Порядок исследования.

1. Ключ в замке зажигания стенда МТ Е-5000 повернуть в положение, соответствующее пуску двигателя (см. прил.1).

2. Вращением рукояток потенциометров регулировки температуры охлаждающей жидкости $t_{ож}$ и поступающего воздуха $t_{возд}$ на панели управления стенда МТ Е-5000 установить значения $t_{ож} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{возд} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. прил. 1).

3. Вращением рукоятки потенциометра регулировки напряжения бортовой электросети $U_{борт}$ во внутренней части панели измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 установить значение $U_{борт} = 14,0\text{ В}$ (см. прил. 1).

4. Вращением рукоятки потенциометра регулировки давления во впускном коллекторе на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) изменять значение давления $P_{абс}$ в диапазоне от минимального до максимального с шагом в $\Delta P = 100\text{ мБар}$. При каждом из выбранных значений давления необходимо вращением рукоятки потенциометра изменения положения педали акселератора на панели управления стенда изменять частоту вращения коленчатого вала n в диапазоне от минимального до максимального с шагом в $\Delta n = 500\text{ мин}^{-1}$. Для каждого из сочетаний абсолютного давления во впускном коллекторе $P_{абс}$ и частоты вращения коленчатого вала n необходимо при помощи соответствующего индикатора на панели управления стенда (см. прил. 1) зарегистрировать продолжительность управляющих импульсов $\tau_{имп}$, поступающих на форсунки.

5. Зарегистрированные значения продолжительности управляющих импульсов $\tau_{имп}$, поступающих на форсунки, занести в табл. 10.

Таблица 10

Зависимость продолжительности управляющих импульсов, поступающих на форсунки, от частоты вращения коленчатого вала n и абсолютного давления во впускном коллекторе

$n, \text{ мин}^{-1}$	$P_{абс}, \text{ мБар}$							
	300	400	500	600	700	800	900	1000
800								
1300								
1800								
2300								
2800								
3300								
3800								
4300								
4800								
5300								
5800								

4.2.2. Исследование влияния значений температуры охлаждающей жидкости и воздуха во впускном коллекторе на продолжительность управляющих импульсов, подаваемых на форсунки

Порядок исследования.

1. Установить рукоятку потенциометра регулировки абсолютного давления во впускном коллекторе $P_{абс}$ на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) в положение «auto».

2. Последовательным вращением рукояток потенциометров регулировки температуры охлаждающей жидкости $t_{ож}$ и поступающего воздуха $t_{возд}$ на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) изменять значения температур в диапазоне от минимального до максимального с шагом в $\Delta t = 10$ °С, при этом для каждого из выбранных значений температур при помощи соответствующего индикатора на панели управления стенда необходимо зарегистрировать продолжительность управляющих импульсов $\tau_{имп}$, поступающих на форсунки.

3. Зарегистрированные значения продолжительности управляющих импульсов $\tau_{имп}$, поступающих на форсунки, занести в табл. 11.

Таблица 11

Зависимость продолжительности управляющих импульсов, поступающих на форсунки от температуры охлаждающей жидкости и поступающего воздуха

Температура охлаждающей жидкости $t_{ож}$, °С	Продолжительность управляющих импульсов $\tau_{имп}$, мс	Температура поступающего воздуха $t_{возд}$, °С	Продолжительность управляющих импульсов $\tau_{имп}$, мс

4. Построить графические зависимости продолжительности управляющих импульсов $\tau_{имп}$ от температуры охлаждающей жидкости $t_{ож}$ и поступающего воздуха $t_{возд}$ [$\tau_{имп} = f(t_{ож})$; $\tau_{имп} = f(t_{возд})$].

4.2.3. Исследование влияния величины напряжения бортовой электросети на продолжительность управляющих импульсов, подаваемых на форсунки

Порядок исследования.

1. Вращением рукоятки потенциометра регулировки напряжения бортовой электросети $U_{борт}$ во внутренней части панели измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) изменять значение напряжения в диапазоне от минимального до максимального с шагом в $\Delta U_{борт} = 1$ В, при этом для каждого из выбранных значений напряжения при помощи соответствующего индикатора на панели управления стенда необходимо зарегистрировать продолжительность управляющих импульсов $\tau_{имп}$, поступающих на форсунки.

2. Зарегистрированные значения продолжительности управляющих импульсов $\tau_{имп}$, поступающих на форсунки, занести в табл. 12.

Таблица 12

Зависимость продолжительности управляющих импульсов, поступающих на форсунки от напряжения бортовой сети

Напряжение бортовой сети $U_{борт}$, В	Продолжительность управляющих импульсов $\tau_{имп}$, мс

3. Построить графическую зависимость продолжительности управляющих импульсов $\tau_{имп}$ от напряжения бортовой электросети $U_{борт}$ [$\tau_{имп} = f(U_{борт})$].

4.3. Исследование влияния различных факторов на значение угла опережения зажигания

Порядок исследования.

1. Вилку EOBD II измерительного прибор CL-550 (см. прил. 2) необходимо подключить к соответствующему разъему стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1).

2. Переключить измерительный прибор CL-550 в режим «диагностика – просмотр текущих параметров» работы ДВС (см. прил. 2).

3. Ключ в замке зажигания стенда МТ Е-5000 повернуть в положение, соответствующее пуску двигателя (см. прил. 1).

4. Вращением рукояток потенциометров регулировки температуры охлаждающей жидкости $t_{ож}$ и поступающего воздуха $t_{возд}$ на панели управления стенда МТ Е-5000 установить значения $t_{ож} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{возд} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. прил. 1).

5. Вращением рукоятки потенциометра регулировки давления во впускном коллекторе на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) изменять значение давления $P_{абс}$ в диапазоне от минимального до максимального с шагом в $\Delta P=100$ мБар. При каждом из выбранных значений давления необходимо вращением рукоятки потенциометра изменения положения педали акселератора на панели управления стенда изменять частоту вращения коленчатого вала n в диапазоне от минимального до максимального с шагом в $\Delta n = 500$ мин⁻¹. Для каждого из сочетаний абсолютного давления во впускном коллекторе $P_{абс}$ и частоты вращения коленчатого вала n необходимо при помощи прибора СL-550 зарегистрировать значение угла опережения зажигания $\varphi_{оз}$.

6. Зарегистрированные значения угла опережения зажигания $\varphi_{оз}$, занести в табл. 13.

Таблица 13

Зависимость угла опережения зажигания $\varphi_{оз}$ от частоты вращения коленчатого вала n и абсолютного давления во впускном коллекторе

n , мин ⁻¹	$P_{абс}$, мБар							
	300	400	500	600	700	800	900	1000
800								
1300								
1800								
2300								
2800								
3300								
3800								
4300								
4800								
5300								
5800								

4.4. Изучение особенностей управления электровентилятором системы охлаждения ДВС

Порядок выполнения.

1. Вращением рукоятки потенциометра регулировки температуры охлаждающей жидкости $t_{ож}$ на панели управления стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1) изменять значение температуры в диапазоне от минимального до максимального, при этом регистрируя значения температур охлаждающей жидкости, соответствующих включениям первой и второй скоростей вращения электро-вентилятора системы охлаждения ДВС.

2. Вращением рукоятки потенциометра регулировки температуры охлаждающей жидкости $t_{ож}$, начиная с максимального значения, уменьшать температуру охлаждающей жидкости, при этом регистрируя значения температур, соответствующих выключениям второй и первой скоростей вращения электровентилятора системы охлаждения ДВС.

3. Зарегистрированные значения температур охлаждающей жидкости, при которых происходит «включение – выключение» первой и второй скоростей электровентилятора системы охлаждения ДВС занести в табл. 14.

Таблица 14

Значения температур охлаждающей жидкости, при которых происходит «включение – выключение» первой и второй скоростей электровентилятора системы охлаждения ДВС

Режим «включение – выключение» электровентилятора системы охлаждения ДВС	Температура охлаждающей жидкости $t_{ож}$, °С
Включение первой скорости	
Включение второй скорости	
Выключение второй скорости	
Выключение первой скорости	

Контрольные вопросы

1. Что является целью управления ДВС?
2. В чем заключается назначение ЭСУД?
3. Какими параметрами характеризуется ДВС как объект управления?
4. Какие параметры ДВС относятся к входным (управляемым)?
5. Что является задающим воздействием?
6. Какие параметры ДВС относятся к выходным (управляемым), внутренним параметрам (параметрам состояния)?
7. Что относится к внешним (возмущающим) воздействиям?
8. Какие особенности имеет ДВС как объект управления?
9. Что называют характеристическими картами?
10. Что лежит в основе программного управления управляющими воздействиями ДВС?
11. С какой целью применяются корректирующие коэффициенты (матрицы) при осуществлении программного управления?
12. Какие существуют методы определения итогового значения управляющего воздействия при использовании корректирующих матриц и коэффициентов?
13. Почему невозможно оптимальное управление ДВС в процессе эксплуатации только на основании информации, представленной в виде характеристических карт?
14. Информация с каких датчиков используется для осуществления управления ДВС с обратными связями?
15. Какие функции выполняет ЭБУ ЭСУД?
16. Какие основные элементы входят в состав ЭБУ?
17. Каким образом осуществляется обмен данными между электронными блоками управления автомобиля?
18. Какие модули входят в состав программного обеспечения ЭБУ ЭСУД?
19. Каковы основные режимы работы ДВС?
20. Какие особенности управления ДВС в режимах пуска, продувки?
21. Какие особенности управления ДВС в режиме прогрева?
22. Какие особенности управления ДВС при работе на режиме частичных нагрузок?
23. Какие особенности управления ДВС при работе на режимах ускорения, замедления?

24. Какие особенности управления ДВС при работе в режиме полной мощности?

25. Какие особенности управления ДВС при работе в режиме принудительного холостого хода?

26. Какие особенности управления ДВС при работе в режиме холостого хода?

27. Каким образом происходит ограничение максимальной частоты вращения коленчатого вала ДВС?

28. При каких условиях активируется режим работы ЭСУД с обратной связью по сигналу датчика кислорода?

29. Каким образом работает ЭСУД с обратной связью по сигналу датчика кислорода?

30. Какие бывают виды корректировок продолжительности управляющих импульсов, поступающих на форсунки, по сигналу датчика кислорода?

31. Каким образом работает ЭСУД с обратной связью по сигналу датчика детонации?

5. СИСТЕМА БОРТОВОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭСУД

5.1. Теоретические основы

5.1.1. Общие сведения о системе бортовой диагностики ЭСУД

Бортовая система диагностирования ЭСУД предназначена для непрерывного контроля исправности подключенных датчиков и исполнительных механизмов, а также для контроля исправности систем, выход из строя которых ведет к увеличению загрязнения окружающей среды. Бортовая система диагностирования ЭСУД представляет собой одну из подсистем ЭБУ, которая реализует функцию самодиагностики посредством специального программного обеспечения.

Во время эксплуатации автомобиля бортовая система диагностики ЭСУД периодически тестирует электрические и электронные системы и их элементы. При обнаружении неисправности записывается код ошибки неисправности в память ЭБУ, после чего при возможности происходит переход на резервный (аварийный) режим управления ДВС. ДВС при этом продолжает работать, и автомобиль может двигаться, однако параметры его работы не будут соответствовать номинальным параметрам. В таких случаях также происходит предупреждение водителя о наличии неисправности в ЭСУД при помощи светового индикатора на панели щитка приборов.

Чтобы получить информацию о выявленной неисправности, необходимо осуществить считывание кода из памяти ЭБУ при помощи диагностического тестера (сканера).

5.1.2. Основные сведения о стандарте OBD II

Программное обеспечение современных бортовых диагностических систем должно соответствовать стандарту OBD II (*On-Board Diagnostic*). Разработка требований и рекомендаций OBD II велась под эгидой EPA (*Environmental Protection Agency* – Агентство по охране окружающей среды при правительстве США), при участии CARB (*California Air Resources Board* – отдел по охране окружающей среды при правительстве штата Калифорния) и SAE (*Society of Automotive Engineers* – Международное общество автомобильных

инженеров). *E*OBD – европейская бортовая диагностическая система, основанная на спецификации OBD-II.

Основные требования стандарта OBD II:

- наличие стандартного диагностического разъема;
- стандартное размещение диагностического разъема;
- применение стандартных протоколов обмена данными между сканером и автомобилем;
- стандартный список кодов неисправностей;
- возможность сохранения в памяти ЭБУ кадра значений параметров при появлении кода ошибки (*Freeze Frame* – «замороженный» кадр);
- мониторинг компонентов, отказ которых может привести к увеличению токсичных выбросов в окружающую среду;
- защита от вмешательств и манипуляций с ЭБУ;
- стандартизированное управление индикаторами неисправности (*Malfunction Indicator Lamp* – MIL).

В качестве стандартного диагностического разъема OBD II используют шестнадцатиконтактный штекерный разъем. В этом разъеме стандартизованы и геометрическая форма, и размеры, и предназначение контактов. Этот диагностический разъем является интерфейсом между электронными системами автомобиля и диагностическим тестером (сканером).

Назначение контактов диагностического разъема OBD II показано на рис. 65.

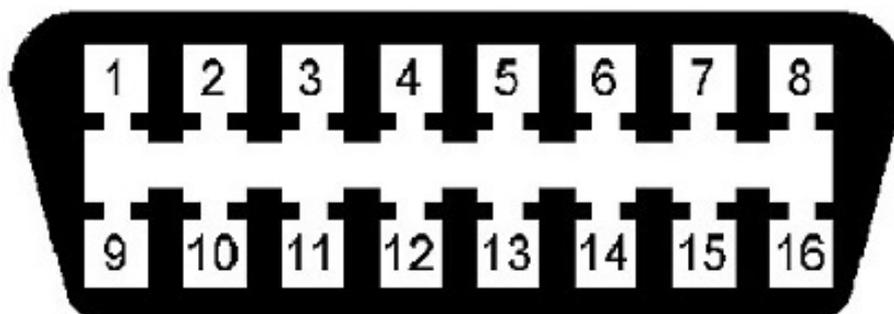


Рис. 65. Назначение контактов диагностического разъема OBD II:

- 1 – OEM (протокол производителя); 2 – J 1850 шина+;
- 3 – OEM; 4 – масса кузова; 5 – сигнальная масса;
- 6 – ISO/DIS 15765-4 CAN H; 7 – ISO 9141-2 K Line;
- 8 – OEM; 9 – OEM; 10 – J 1850 шина–;
- 11 – OEM;
- 12 – OEM; 13 – OEM; 14 – ISO/DIS 15765-4 CAN L;
- 15 – ISO 9141-2 L-Line; 16 – напряжение бортовой сети

Для обмена данными между диагностическим тестером и электронными системами автомобиля могут применяться специальные протоколы: ISO 9141-2; ISO 14230-4 (KWP 2000); SAE J 1850 VPW; SAE J 1850 PWM; ISO/DIS 15765-4 (*Controller Area Network – CAN*).

Спецификация OBD-II, предусматривает стандартизированный аппаратный интерфейс и представляет из себя колодку диагностического разъёма в форме трапеции (*Diagnostic Link Connector – DLC*) соответствующую стандарту SAE J1962, с 16-ю контактами.

Диагностический разъем должен находиться в салоне и располагаться в районе рулевого колеса или в пределах досягаемости водителя.

Структура кодов неисправностей OBD II (*Diagnostic Trouble Codes – DTCs*) стандартна для всех автомобилей, она регламентируется стандартами ISO 15031-6 и SAE J2012. Код неисправности состоит из пяти знаков (буква латинского алфавита и следующие за ней четыре цифры). Коды делятся на независимые от изготовителей – стандартные коды (*generic*) и специфические коды производителей (расширенные, *extended*). Расшифровка стандартных кодов одинакова для всех автомобилей, поддерживающих OBD II. Специфические коды различаются по разным маркам автомобилей и были введены автопроизводителями специально для расширения возможностей диагностики.

Формирование кода происходит по единой схеме:

а) первая позиция: P (*Powertrain codes*) – код связан с работой силового агрегата; B (*Body codes*) – код связан с работой «кузовных систем»; C (*Chassis codes*) – код относится к системе шасси (ходовой части); U (*Network codes*) – код относится к системе взаимодействия между электронными блоками (например, к шине CAN);

б) вторая позиция: 0, 1, 2, 3 – тип кода (стандартный или специфический);

в) третья позиция: подсистема, в которой возникла неисправность;

г) четвертая и пятая позиции: элемент подсистемы, в котором возникла неисправность.

Пример кодов неисправностей: P0131 – низкое напряжение датчика кислорода, ряд 1, датчик 1; P0201 – нарушение работы форсунки цилиндра №1; P0700 – нарушение системы регулирования КПП.

Система OBD II записывает в регистратор событий пробег с момента появления неисправности, а также кадр значений параметров, характеризующих работу ДВС.

Система OBD II во время поездки обеспечивает постоянный контроль всех элементов автомобиля, неисправность которых может привести к увеличению токсичности отработавших газов. При возникновении неисправностей, приводящих к превышению установленного предельного содержания вредных веществ в ОГ в 1,5 раза, на панели приборов загорается индикатор неисправности MIL.

Управление индикатором неисправностей при возникновении неисправностей стандартизирует:

- включение индикатора неисправности не более чем после двух (OBD II) или трёх (EOBD) последовательных циклов движения с одной и той же неисправностью и запись в регистратор событий;

- выключение индикатора неисправностей после трёх последовательных бесперебойных циклов движения с фазой прогрева, в течение которого система контроля больше не выявляет соответствующую неисправность, а также прочие неисправности, которые могли бы включить индикатор;

- удаление кода неисправности из запоминающего устройства после сорока и более циклов движения с фазой прогрева при отсутствии неисправностей.

Индикатор неисправностей должен загораться перед запуском ДВС при включении зажигания и погаснуть после запуска, если прежде не будет выявлена какая – либо неисправность.

При возникающих пропусках зажигания индикатор неисправности мигает. Мигание должно продолжаться до тех пор, пока не будет прекращена подача топлива в неисправный цилиндр. Когда будет перекрыта подача топлива, индикатор неисправностей будет гореть постоянно.

Система бортовой диагностики при определенных условиях может быть деактивирована (отключена). Деактивация (отключение) происходит, когда существует высокая вероятность ложного срабатывания системы бортовой диагностики, например:

- автомобиль эксплуатируется на высоте более 2400 м (CARB OBD II) или 2500 м (EOBD) над уровнем моря;

- уровень топлива в баке менее 15% (CARB OBD II) или менее 20% (EOBD);

- пониженное напряжение бортовой сети и т.п.

Изготовители обязаны обеспечить защиту систем OBD от манипуляций и несанкционированного перепрограммирования характеристик.

Стандарт OBD II предусматривает ряд стандартизированных режимов диагностики (*modes*):

а) считывание текущих параметров работы системы управления силовым агрегатом (*Mode 1 PID Status & Live PID Information*);

б) получение сохраненного кадра текущих параметров работы системы управления на момент возникновения кодов неисправностей (*Mode 2 Freeze Frame*);

в) считывание и просмотр кодов неисправностей (*Mode 3 Read Diagnostic Trouble Codes (DTCs)*);

г) очистка диагностической памяти (*Mode 4 Reset DTC's and Freeze Frame data*) – стирание кодов неисправностей, кадра текущих параметров, результатов тестов датчиков кислорода, результатов тестовых мониторов;

д) считывание и просмотр результатов теста датчиков кислорода (*Mode 5 O2 Sensor Monitoring Test Result*);

е) запрос последних результатов диагностики однократных тестовых мониторов (тестов, проводимых один раз в течение поездки) (*Mode 6 Test results, non - continuously monitored*);

ж) запрос результатов диагностики непрерывно действующих тестовых мониторов (тестов, выполняемых постоянно, пока выполняются условия для проведения теста) (*Mode 7 Test results, continuously monitored*);

з) управление исполнительными механизмами (*Mode 8 Request Control of On-Board System Test or Component*);

и) запрос информации о диагностируемом автомобиле (*Mode 9 Request vehicle information*).

Необходимо учитывать, что не на всех автомобилях электронные системы управления поддерживают все перечисленные функции, также не каждый диагностический тестер (сканер) для OBD II может дать диагносту возможность использовать все перечисленные режимы.

5.1.3. Структура программного обеспечения систем OBD II

Диагностика в системах стандарта OBD II осуществляется программой *Diagnostic Executive*, в состав которой в свою очередь входят специальные подпрограммы – мониторы, которые

контролируют исправность отдельных функциональные систем. С помощью мониторов EM (*emission monitor*) контролируются системы, неисправность которых может вызвать увеличение концентрации вредных веществ в отработавших газах. В составе *Diagnostic Executive* могут функционировать следующие мониторы EM:

- а) каталитического нейтрализатора;
- б) датчиков кислорода;
- в) пропусков воспламенения;
- г) топливной системы;
- д) системы улавливания паров топлива в баке и т.д.

Остальные элементы контролируются монитором ССМ (*comprehensive component monitor*). Монитор ССМ контролирует входные и выходные сигналы компонентов и подсистем, которые не охвачены мониторами EM. Монитор ССМ может обнаружить обрыв, замыкание цепи или несоответствие сигнала норме. Проводятся также тесты на «рациональность» для входных и «функциональность» для выходных сигналов, проверяющие соответствие их значений режиму работы. Монитор ССМ может контролировать следующие элементы:

- датчик абсолютного давления во впускном коллекторе;
- датчики температуры охлаждающей жидкости и воздуха;
- датчики положения педали акселератора и дроссельной заслонки;
- датчик положения коленчатого вала;
- датчик положения распределительного вала и т.д.

Каждый монитор может осуществить тестирование во время поездки при выполнении определенных условий. Критерием может быть время после запуска ДВС, частота вращения коленчатого вала, скорость движения автомобиля, положение дроссельной заслонки, температура охлаждающей жидкости и т.д.

Мониторы *Diagnostic Executive* могут осуществлять три вида тестов:

- 1) пассивный тест – мониторинг за значениями параметров системы или цепи;
- 2) активный тест – данный тест реализуется, если система не проходит пассивный тест; предполагаются реализация тестового воздействия и регистрация реакции системы на него (тестовое воздействие должно оказывать минимальное воздействие на текущую работу проверяемой системы);

3) расширенный активный тест – данный тест выполняется, если система не прошла пассивный и активный тесты; тестовое воздействие может заключаться в изменении режимов работы ДВС и подсистем.

Результаты выполнения тестов передаются от мониторов *Diagnostic Executive*, коды ошибок обнаруженных неисправностей записываются в память ЭБУ, зажигается индикатор неисправностей MIL.

5.1.4. Монитор каталитического нейтрализатора

Каталитический нейтрализатор – важнейший элемент системы очистки отработавших газов бензинового ДВС. Контроль функционирования каталитического нейтрализатора происходит опосредованно путем использования второго датчика кислорода, установленного за нейтрализатором и называемого диагностическим датчиком.

Система управления подачей топлива в бензиновом ДВС является релейным стабилизатором стехиометрического состава топливовоздушной смеси. Состав смеси колеблется около $\lambda = 1$ с определенной частотой. Из-за постоянного изменения состава смеси изменяется и концентрация кислорода в ОГ. Способность нейтрализатора накапливать и отдавать кислород смягчает эти изменения (концентрация кислорода в отработавших газах на выходе из нейтрализатора стабилизируется), в результате напряжение на выходе диагностического датчика кислорода практически не имеет колебаний и соответствует в зависимости от конструкции системы богатой или бедной топливовоздушной смеси.

Сравнивая сигналы первого (управляющего) и второго (диагностического) датчиков кислорода система распознает возможные неисправности нейтрализатора.

У неисправного нейтрализатора способность накапливать кислород почти отсутствует. Состав отработавших газов на входе и на выходе нейтрализатора почти одинаков. В этом случае сигналы обоих датчиков кислорода почти идентичны, если не считать небольшого фазового смещения, обусловленного временной задержкой. При обнаружении совпадения сигналов датчиков кислорода монитор регистрирует неисправность и активирует индикатор неисправности MIL.

5.1.5. Монитор датчиков кислорода

Монитор проводит различные тесты в зависимости от того, где расположен датчик – на входе или на выходе каталитического нейтрализатора. Для обоих датчиков проверяется исправность цепей нагревателей путем измерения силы тока, протекающего через нагревательный элемент. Для датчика кислорода на входе нейтрализатора проверяются значения напряжения при высоком и низком уровнях сигнала и частоте переключения. Частота переключений датчика кислорода определяется по числу пересечения сигналом с датчика среднего уровня 450 мВ за определенное время. Монитор определяет также длительность фронта сигнала и среднее время реакции данного датчика. Для датчика кислорода на выходе нейтрализатора монитор проводит два теста: при работе на богатой и бедной смесях путем длительного, целенаправленного изменения её состава либо при движении автомобиля в режимах ускорения и принудительного холостого хода. При работе на обогащенной смеси монитор отслеживает, чтобы на выходе датчика было высокое напряжение, при работе на бедной смеси – низкое. При обнаружении неисправностей датчиков кислорода монитор регистрирует неисправность и активирует индикатор неисправности MIL.

5.1.6. Монитор пропусков воспламенения в цилиндрах ДВС

Пропуски воспламенения в цилиндрах ДВС приводят к увеличению количества углеводородов в отработавших газах. Значительное количество несгоревших углеводородов, попадая в нейтрализатор, могут привести к его термическому повреждению. Термические повреждения могут также получить и датчики кислорода.

Анализ пропусков воспламенения выполняется селективно по отдельным цилиндрам по сигналам датчиков положения коленчатого и распределительного валов. При пропуске воспламенения давление в цилиндре во время рабочего хода ниже нормы, движение поршня и коленчатого вала замедляются. ЭБУ по сигналу датчика положения коленчатого вала отслеживает угловую скорость коленчатого вала и возможные неравномерности вращения. Путем сопоставления информации с датчиков положения коленчатого и распределительного валов ЭБУ идентифицирует цилиндр, в котором произошел пропуск воспламенения. При возникновении пропусков

воспламенения ЭБУ может прекратить подачу топлива в соответствующем цилиндре или цилиндрах.

При определенных условиях эксплуатации, таких как режим принудительного холостого хода, регулирование угла опережения зажигания по сигналу датчика детонации и сигналу системы ASR или при очень быстрой смене нагрузок, монитор пропусков воспламенения не функционирует.

5.1.7. Монитор системы подачи топлива

При эксплуатации ДВС в силу ряда причин происходит изменение его состояния. Для поддержания требуемых параметров ДВС с учетом изменения его состояния в течение всего срока эксплуатации используется управление с обратными связями по сигналам датчиков кислорода и датчика детонации. ЭСУД осуществляет контроль фактических параметров ДВС, и в случае необходимости корректирует управляющие параметры.

По сигналу датчика кислорода оценивается содержание кислорода в отработавших газах, а по содержанию кислорода, в свою очередь, определяется отклонение от стехиометрического состава сгорающей топливовоздушной смеси. В случае необходимости ЭБУ производит корректировку соотношения «воздух–топливо» за счет коррекции продолжительности управляющих импульсов, поступающих на форсунки.

Величина коррекции – это параметр, который показывает, насколько необходимо изменить длительность управляющих импульсов, поступающих на форсунки, относительно расчетного (базового) значения для поддержания оптимального состава смеси.

Различают следующие виды коррекции продолжительности управляющих импульсов, поступающих на форсунки:

- а) кратковременная коррекция (*Short Term Fuel Trim*);
- б) долговременная коррекция – адаптация (*Long Term Fuel Trim*).

ЭСУД в режиме работы с обратной связью осуществляет релейную стабилизацию стехиометрического состава топливовоздушной смеси, при этом состав смеси постоянно колеблется между богатой и бедной смесью с определенной частотой в заданном диапазоне. Данные колебания состава топливовоздушной смеси обусловлены реализацией кратковременной коррекции продолжительности управляющих импульсов, поступающих на форсунки. Если возникает необходимость в значительных изменениях

продолжительности управляющих импульсов, и при этом значения данных изменений выходят за допустимые границы кратковременной коррекции, то в этом случае дополнительно осуществляется долговременная коррекция (адаптация) продолжительности управляющих импульсов. Значение коэффициента долговременной коррекции сохраняется в памяти ЭБУ после выключения зажигания. Этот параметр – результат адаптации ЭСУД к текущему состоянию ДВС.

Как правило, долговременная коррекция продолжительности управляющих импульсов, поступающих на форсунки, осуществляется:

- при нештатном поступлении дополнительного количества воздуха через различные неплотности;
- изменении давления топлива в рампе;
- изменении расходных характеристик форсунок в результате загрязнений или износа и т.д.

Значения коэффициентов коррекции входят в число параметров, получаемых от ЭБУ диагностическим тестером (сканером).

Монитор системы подачи топлива контролирует средние и мгновенные значения коэффициентов коррекции. В случае, когда ЭБУ посредством коррекции подачи топлива уже не может компенсировать изменение состояния ДВС, т.е. значения коэффициентов коррекции достигли заданных пределов, в память записывается соответствующий код неисправности, и загорается индикатор неисправности MIL.

5.1.8. Монитор системы улавливания паров топлива

Для контроля системы улавливания паров топлива используется сигнал датчика кислорода, установленного до нейтрализатора. Сигнал анализируется при открытом и закрытом клапане продувки адсорбера и сравнивается на протяжении нескольких циклов регулирования. Если при заполненном адсорбере клапан будет включен, то смесь будет обогащаться, что распознает ЭБУ по сигналу первого датчика кислорода. Для контроля системы улавливания паров топлива также применяется метод модуляции давления. При этом электромагнитный клапан через запрограммированные короткие интервалы времени открывается и закрывается. В результате возникают колебания давления во впускном коллекторе, определяемые по сигналу датчика абсолютного давления. Сигналы сравниваются с заданными значениями, и при выходе их за допустимые пределы загорается индикатор неисправности MIL и регистрируется неисправность.

5.1.9. Монитор ССМ (Comprehensive component monitor)

Система бортовой диагностики в рамках комплексной проверки компонентов с помощью монитора ССМ проверяет элементы ЭСУД, работа которых не контролируется мониторами ЕМ. Монитором ССМ проверяется исправность датчиков, исполнительных механизмов и выходных каскадов ЭБУ.

Датчики проверяются на наличие дефектов в соединительных электроцепях, нахождение выходного сигнала в заданном диапазоне, нарушение достоверности. Под возможными дефектами в соединительных электроцепях подразумеваются короткие замыкания сигнальных проводников на «массу» или на проводник с положительным потенциалом, короткие замыкания в цепях питания, обрывы в электроцепях. При проверке нахождения выходного сигнала датчика в заданном диапазоне величина напряжения сигнала сравнивается с нижним и верхним предельными значениями измерительного диапазона. Для повышения эффективности диагностирования дополнительно производится проверка сигналов датчиков на достоверность. При этом регистрируемое в определенный момент выходное напряжение датчика сравнивается не с установленными границами всего измерительного диапазона, а с более узкими границами, которые определяются режимами работы ДВС в текущий момент времени. Такие проверки могут быть реализованы путем сравнения, например, выходного напряжения какого-либо датчика со значением, рассчитанным по заложенной математической модели на основании информации, получаемой с других датчиков.

Исполнительные механизмы проверяются на наличие дефектов в электрических соединительных цепях и в некоторых случаях на правильное функционирование. Проверка правильности функционирования производится путем контроля за соответствием реагирования исполнительного механизма на поступающий из ЭБУ сигнал.

5.2. Изучение работы системы бортовой диагностики

Порядок выполнения.

1. Открыть панель измерений и внесения неисправностей стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1).

2. Внести неисправности в работу системы управления путем изменения параметров работы с помощью потенциометров и переключателей либо путем нарушения целостности электрических цепей при помощи съёмных перемычек – предохранителей (см. прил. 1) согласно заданию преподавателя.

3. Ключ в замке зажигания стенда МТ Е-5000 повернуть в положение соответствующее пуску двигателя (см. прил. 1).

4. Вилку EOBD II измерительного прибор CL-550 (см. прил. 2) необходимо подключить к соответствующему разъему стенда МТ Е-5000 (см. прил. 1).

5. Переключить измерительный прибор CL-550 в режим диагностика – чтение кодов ошибок (см. прил. 2).

6. Зарегистрированные коды неисправностей занести в соответствующую ячейку итоговой табл. 15.

7. Ключ в замке зажигания стенда МТ Е-5000 повернуть в положение – зажигание выключено (см. прил. 1);

8. Ключ в замке зажигания стенда МТ Е-5000 повернуть в положение – зажигание выключено, далее повернуть в положение – зажигание включено (см. прил. 1).

9. Переключить измерительный прибор CL-550 в режим диагностика – удаление кодов ошибок (см. прил. 2).

10. Удалить коды неисправности из памяти ЭБУ.

Таблица 15

Результаты диагностирования ЭСУД

Заданная неисправность	Код неисправности	Признаки проявления неисправности

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначена бортовая система диагностирования ЭСУД?

2. Каковы основные требования стандарта OBD II (*On-Board Diagnostic*)?

3. Для чего предназначен диагностический разъем OBD II? Какие он имеет особенности?

4. Какие протоколы могут применяться для обмена данными между диагностическим тестером (сканером) и электронными системами автомобиля?
5. Какую структуру имеет диагностический код неисправностей согласно ISO 15031-6 и SAE J2012?
6. В чем отличие специфического кода неисправности от стандартного?
7. В каких случаях на панели приборов загорается индикатор неисправностей (*Malfunction Indicator Lamp* – MIL)?
8. Какие предусмотрены стандартизированные режимы диагностики согласно стандарту OBD II?
9. Что понимают под кадром текущих параметров работы системы?
10. Какую структуру имеет программное обеспечение OBD II?
11. Какие системы контролируются при помощи мониторов EM (*emission monitor*)?
12. Какие элементы ЭСУД контролируются при помощи монитора ССМ (*Comprehensive component monitor*)?
13. Какие виды тестов могут осуществлять мониторы *Diagnostic Executive*?
14. Как функционирует монитор каталитического нейтрализатора?
15. Как функционирует монитор датчиков кислорода?
16. Как функционирует монитор пропусков воспламенения в цилиндрах ДВС?
17. Как функционирует монитор системы подачи топлива?
18. Как функционирует монитор системы улавливания паров топлива?
19. Как функционирует монитор ССМ (*Comprehensive component monitor*)?

Список рекомендуемой литературы

1. Системы управления бензиновым двигателем /BOSCH ; пер. с нем. – М. : ООО «Книжное изд-во «За рулём», 2005.– 432 с.
2. ГОСТ 7.32–2001. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. – Взамен ГОСТ 7.32–91 ; введ. 2002– 07–01. – М. : Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации : ФГУП «Стандартинформ», 2001 [Издание (октябрь 2006 г.) с Изменением №1, утвержденным в июне 2005 г. (ИУС 12–2005), Поправкой (ИУС 5–2002). – 20 с.].
3. ГОСТ 2.105–95. Общие требования к текстовым документам. – Взамен ГОСТ 2.105–79, ГОСТ 2.906–71; введ. 1996–07–01. – М. : Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Издательство стандартов, 1996. – 28 с.
4. ГОСТ 8.417–2002. Единицы величин. – Введ. 2003–09–01. – М. : Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Изд-во стандартов, 2002. – 28 с.
5. ГОСТ Р 6.30–2003. Требования к оформлению документов. – Взамен ГОСТ 6.30–97 ; введ. 2003–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 16 с.
6. Напольский, Г.М. Учебное пособие по дипломному проектированию для студентов специализации «Автосервис и фирменное обслуживание» / Г.М. Напольский, А.А.Солнцев ; МАДИ (ГТУ). – М. : Изд-во МАДИ (ГТУ), 2007. – 36 с.
7. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки бакалавриата 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» : утв. приказом Минобрнауки РФ от 8 декабря 2009 г. № 706.– М., 2009.

Общее устройство и возможности учебного стенда Exhotest MT E-5000

Учебный стенд Exhotest MT E 5000 позволяет имитировать работу двигателя, оснащенного электронной системой управления BOSCH 7.4.4., а также вносить неисправности в работу системы управления. Общий вид учебного стенда представлен на рис. П.1.1. На лицевой стороне стенда расположены три панели: панель измерений и внесения неисправностей; панель управления и панель визуализации.

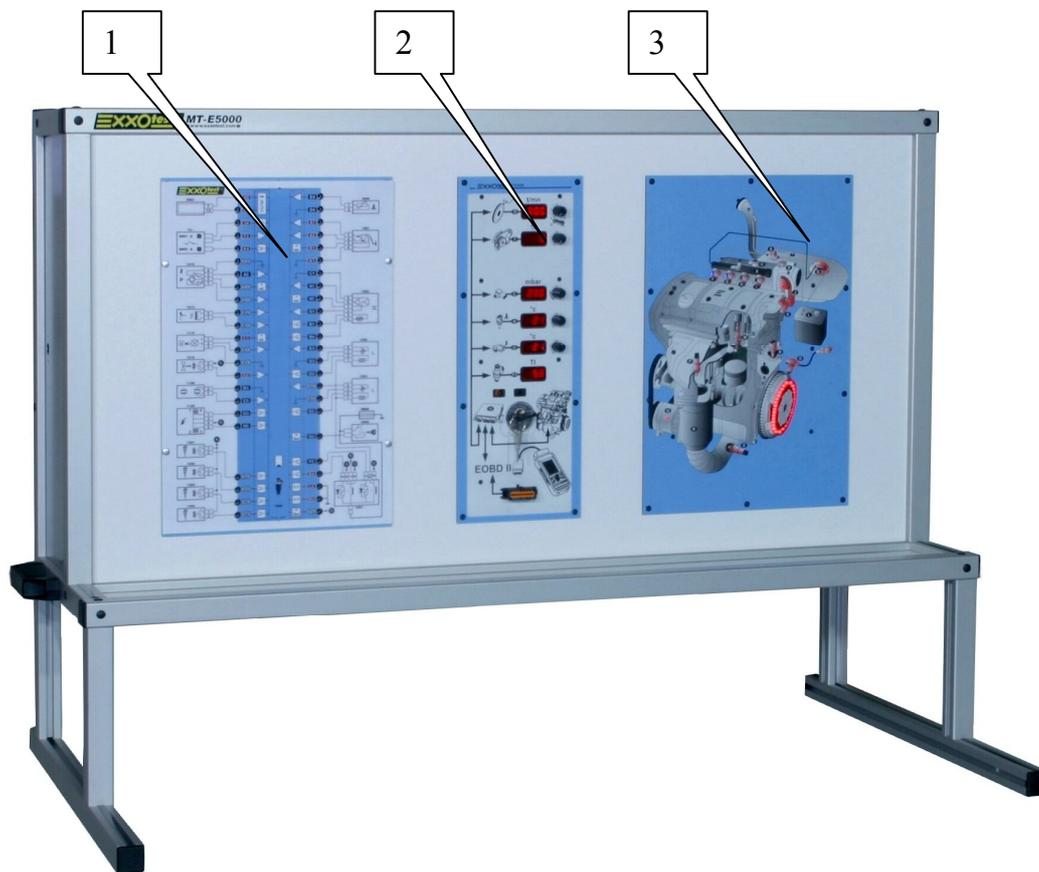


Рис. П.1.1. Общий вид учебного стенда Exhotest MT E-5000:

1 – панель измерений и внесения неисправностей;

2 – панель управления; 3 – панель визуализации

Панель измерений и внесения неисправностей закрыта съемной пластиной с изображением электрической схемы системы управления двигателем (рис. П.1.2, табл. П.1.1). В пластине имеются отверстия для обеспечения доступа к электрическим контактам моделируемого

блока управления. Под пластиной находится крышка с отверстиями, закрывающая внутреннюю часть панели измерений и внесения неисправностей (рис. П.1.3). На данной панели также имеются светодиодные индикаторы включения электроклапанов системы охлаждения двигателя.

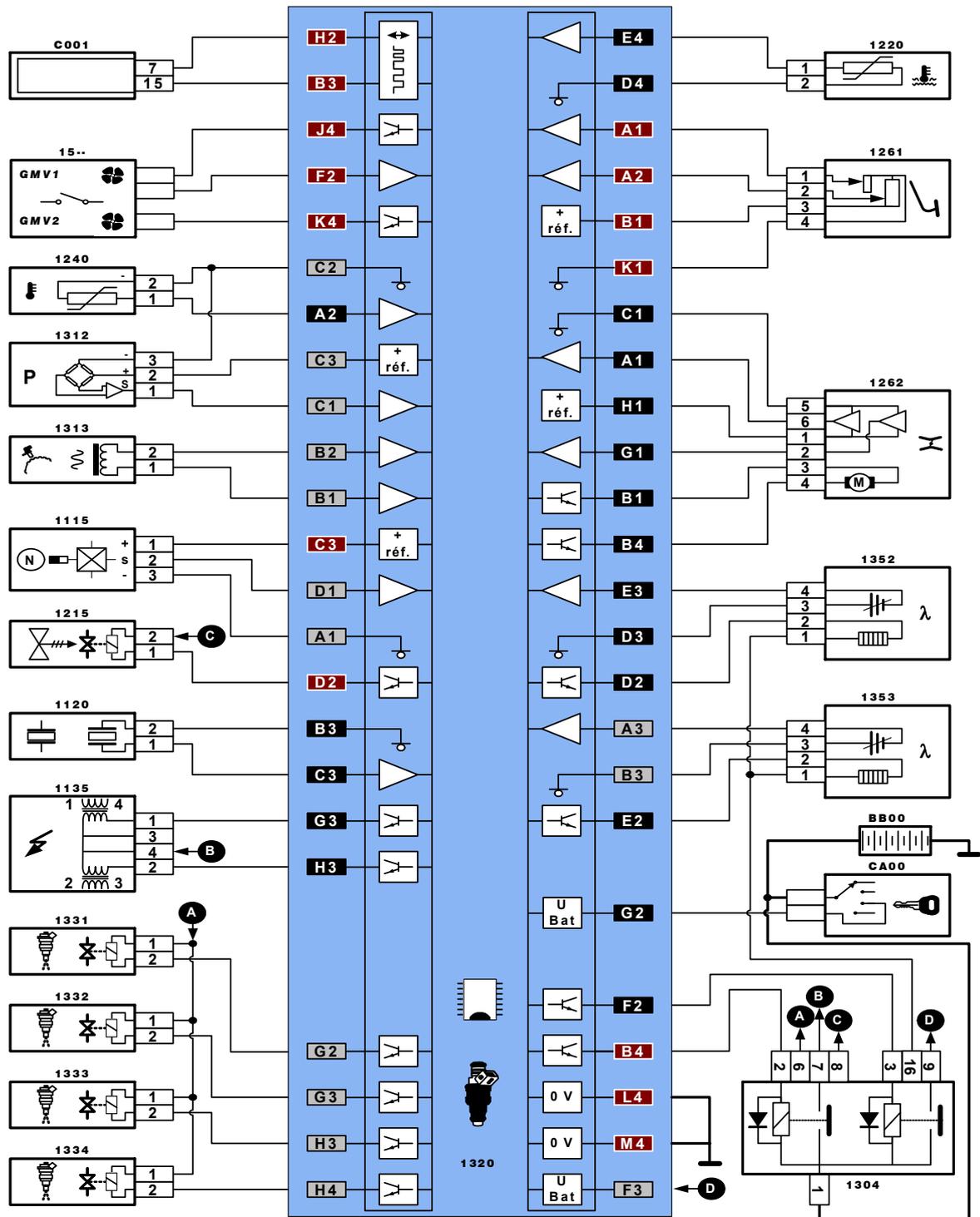


Рис. П.1.2. Электрическая схема системы управления двигателя BOSCH 7.4.4.

Обозначение элементов на схеме системы управления двигателем

Обозначение элемента	Наименование элемента
ВВ00	Аккумуляторная батарея
С001	Диагностический разъём стандарта EOBD II
СА00	Замок зажигания
1115	Датчик фазы
1120	Датчик детонации
1135	Блок катушек зажигания
1215	Электроклапан продувки адсорбера
1261	Датчик положения педали акселератора
1262	Моторизированная дроссельная заслонка
1304	Мультифункциональное двойное реле контроля двигателя
1312	Датчик абсолютного давления воздуха во впускном трубопроводе
1313	Датчик частоты вращения коленчатого вала
1320	Электронный блок управления
1331	Форсунка цилиндра № 1
1332	Форсунка цилиндра № 2
1333	Форсунка цилиндра № 3
1334	Форсунка цилиндра № 4
1350	Датчик кислорода №1
1351	Датчик кислорода №2
15..	Группа электроклапанов
4005	Датчик температуры охлаждающей жидкости

Электрические контакты, имеющиеся на панели измерений и внесения неисправностей, предназначены для подключения электроизмерительных приборов: мультиметра, осциллографа.

Неисправности в работу системы управления вносятся путем изменения параметров работы с помощью потенциометров и переключателей либо путем нарушения целостности электрических цепей при помощи съёмных перемычек – предохранителей.

При помощи потенциометров возможно изменять напряжение питания бортовой сети автомобиля, изменять величину напряжения на сигнальном выводе первого датчика кислорода. При помощи переключателей возможно включить имитацию детонации в любом из четырех цилиндров двигателя, а также имитировать выход из строя каталитического нейтрализатора.

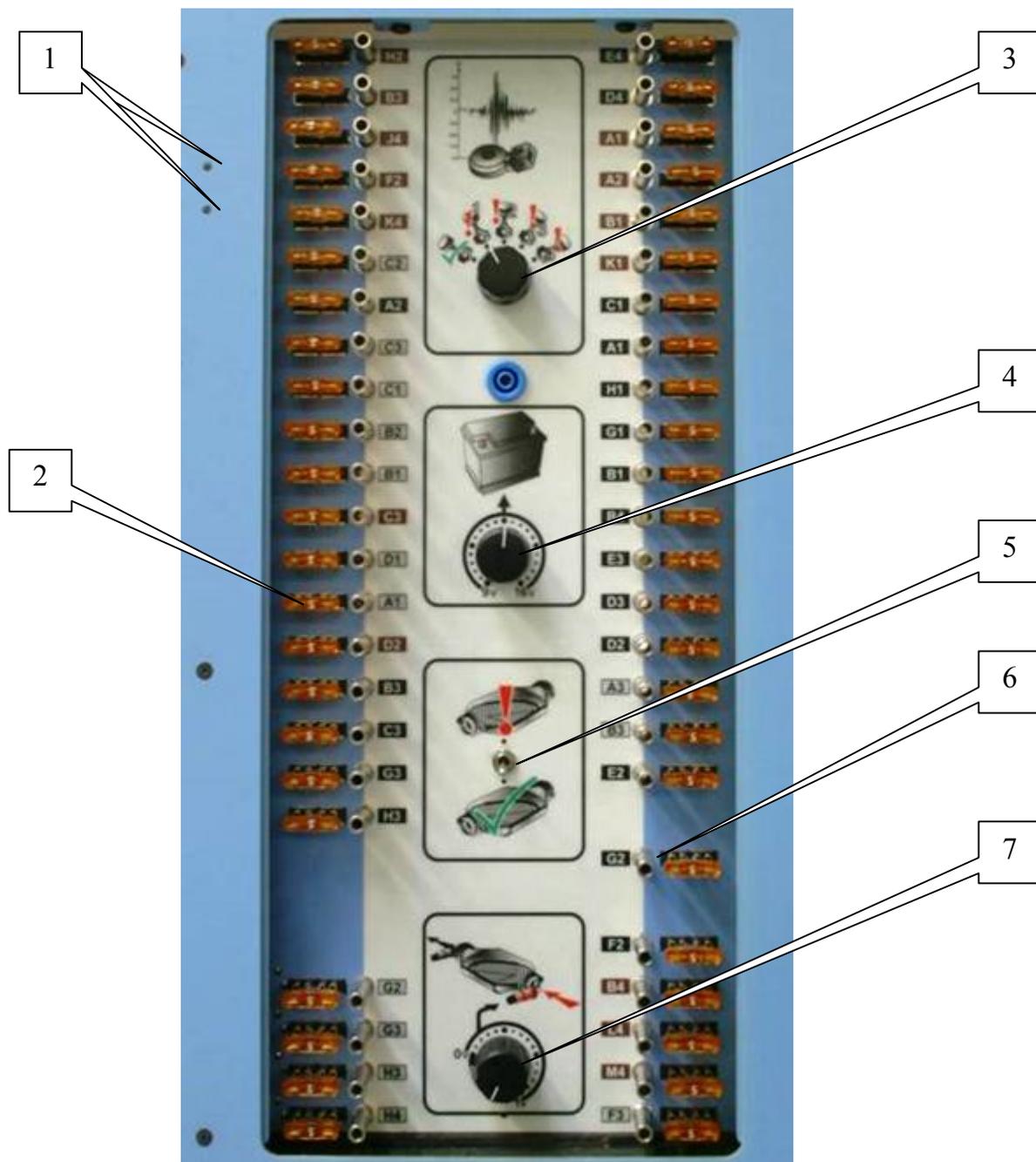


Рис. П.1.3. Внутренняя часть панели измерений и внесения неисправностей стенда Ecxotest MT E-5000:

- 1 – светодиодные индикаторы включения электроклапанов;
- 2 – съёмные перемычки – предохранители;
- 3 – переключатель имитации детонации в одном из четырех цилиндров;
- 4 – потенциометр изменения напряжения питания бортовой сети автомобиля;
- 5 – переключатель имитации поломки каталитического нейтрализатора;
- 6 – электрический контакт;
- 7 – потенциометр изменения напряжения на сигнальном выводе первого датчика кислорода

На панели управления (рис. П.1.4) находятся потенциометры изменения режимов работы двигателя: величины нагрузки, положения педали акселератора, температуры охлаждающей

жидкости, абсолютного давления во впускном коллекторе, температуры воздуха.

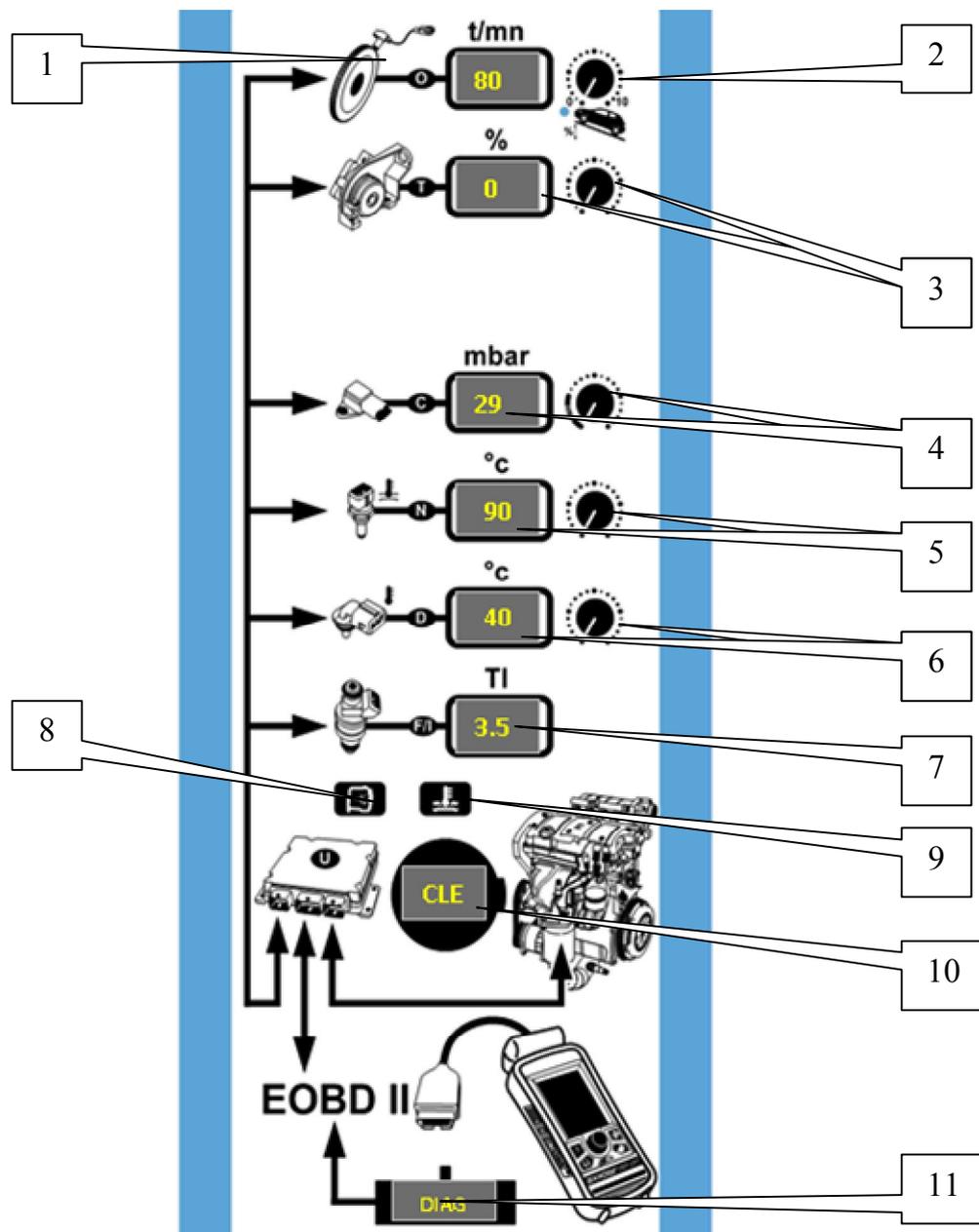


Рис. П.1.4. Панель управления стенда МТ Е-5000:

1 – индикатор частоты вращения коленчатого вала; 2 – потенциометр изменения нагрузки на двигатель; 3 – потенциометр и индикатор изменения положения педали акселератора; 4 – потенциометр и индикатор изменения абсолютного давления во впускном коллекторе; 5 – потенциометр и индикатор изменения температуры охлаждающей жидкости; 6 – потенциометр и индикатор изменения температуры воздуха; 7 – индикатор продолжительности управляющего импульса открытия форсунки; 8 – сигнальная лампа неисправности (MIL); 9 – сигнальная лампа перегрева двигателя; 10 – замок зажигания; 11 – диагностический разъем EOBD II

Параметры работы двигателя выводятся в цифровой форме на соответствующие индикаторы. На этой панели также размещены замок зажигания, диагностический разъем EOBD II, сигнальная лампа неисправности (MIL) и сигнальная лампа превышения предельно допустимой температуры охлаждающей жидкости.

На панели визуализации изображен бензиновый двигатель, и показано расположение основных элементов системы управления (рис. П.1.5).

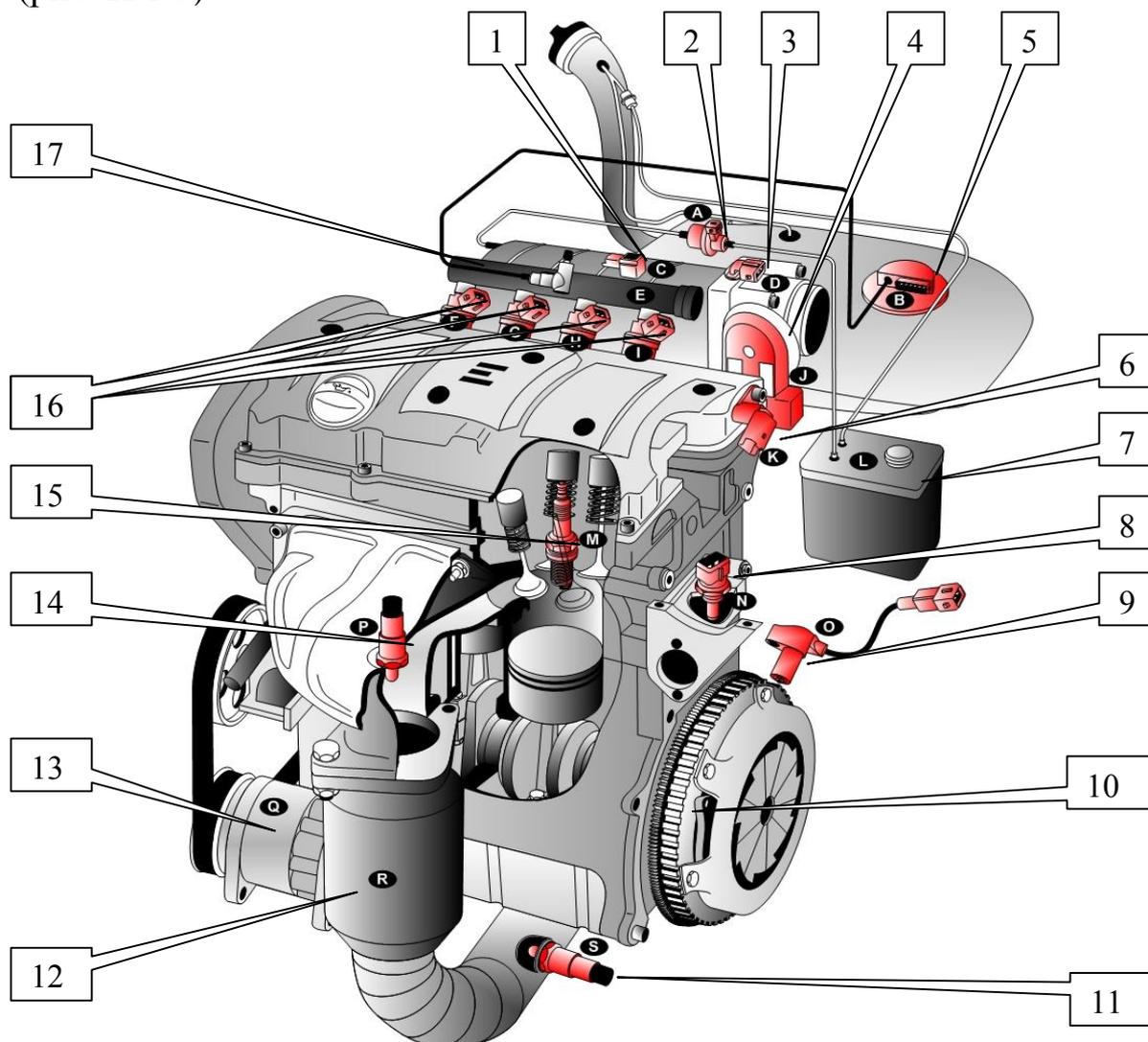


Рис. П.1.5. Панель визуализации стенда МТ Е-5000:

- 1 – датчик абсолютного давления; 2 – электроклапан продувки адсорбера;
 3 – датчик температуры воздуха; 4 – блок моторизированной дроссельной заслонки; 5 – топливный насос, регулятор давления топлива, датчик уровня топлива; 6 – датчик фазы; 7 – топливный бак; 8 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 9 – датчик положения коленчатого вала;
 10 – задающий диск датчика положения коленчатого вала;
 11 – датчик кислорода №2; 12 – каталитический нейтрализатор;
 13 – компрессор кондиционера; 14 – датчик кислорода №1; 15 – свеча зажигания; 16 – электромагнитная форсунка; 17 – топливная рампа

Общее устройство и возможности диагностического прибора CL-550

Прибор CL-550 позволяет проводить электрические измерения в режимах вольтметра, амперметра и осциллографа, а также может работать в режиме диагностического сканера, используя интерфейс стандарта EOBD II.

Общий вид диагностического прибора CL-550 представлен на рис. П.2.1.

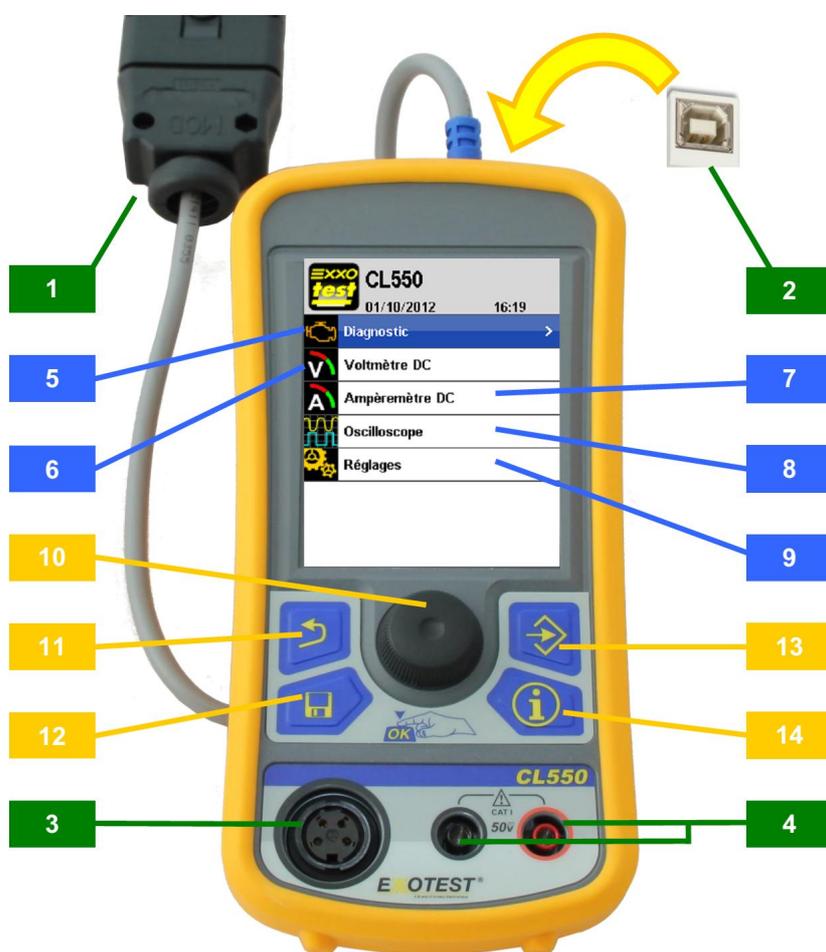


Рис. П.2.1. Общий вид диагностического прибора CL-550:

- 1 – электрический разъем стандарта EOBD II; 2 – разъем USB;
- 3 – сервисный разъем; 4 – электрические разъемы для подключения измерительных проводников;
- 5, 6, 7, 8, 9 – пункты экранного меню выбора режима работы, соответственно режимы диагностики, вольтметр, амперметр, осциллограф, настройка прибора;
- 10 – селектор выбора режимов работы;
- 11 – кнопка возврата; 12 – кнопка запоминания измеренных величин;
- 13 – кнопка входа в меню настроек осциллографа;
- 14 – кнопка входа в сервисное меню

Выбор режима работы и настройка прибора осуществляются при помощи вращающегося селектора. Перемещение по пунктам меню и изменение настроек прибора осуществляется путем вращения рукоятки селектора, а подтверждение выбора конкретного пункта меню и настроек – путем однократного нажатия на селектор (рис. П.2.2).



Рис. П.2.2. Использование селектора прибора CL-550

Прибор позволяет работать в режимах одноканального (рис. П.2.3, а) либо двухканального (рис. П.2.3, б) вольтметра. Выбор измеряемых напряжений отображаются как в цифровом, так и графическом видах.

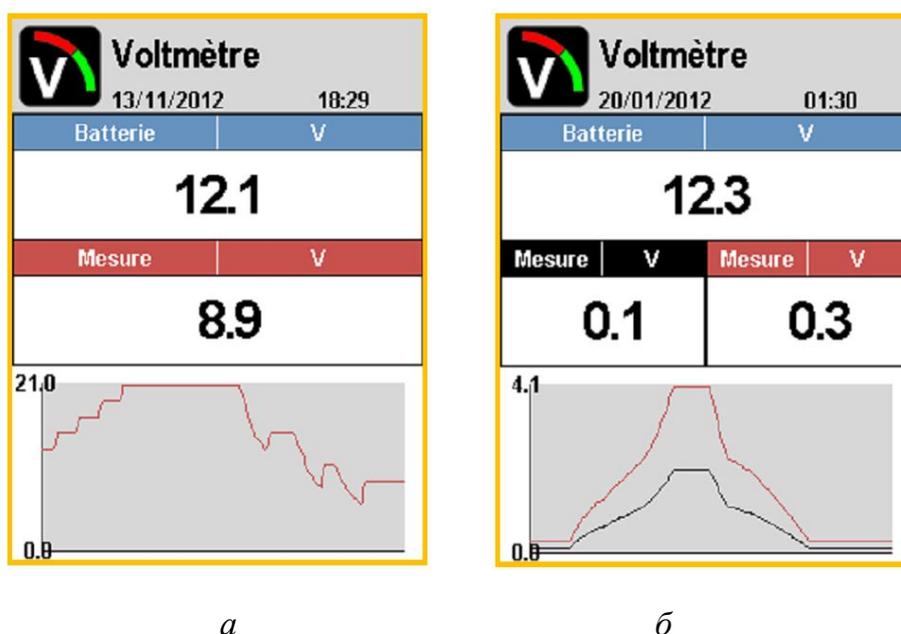


Рис. П.2.3. Работа прибора CL-550 в режиме вольтметра

Для визуального наблюдения формы электрических сигналов и измерения их параметров прибор может работать в режиме осциллографа. Вид экрана прибора при работе в режиме осциллографа представлен на рис. П.2.4.

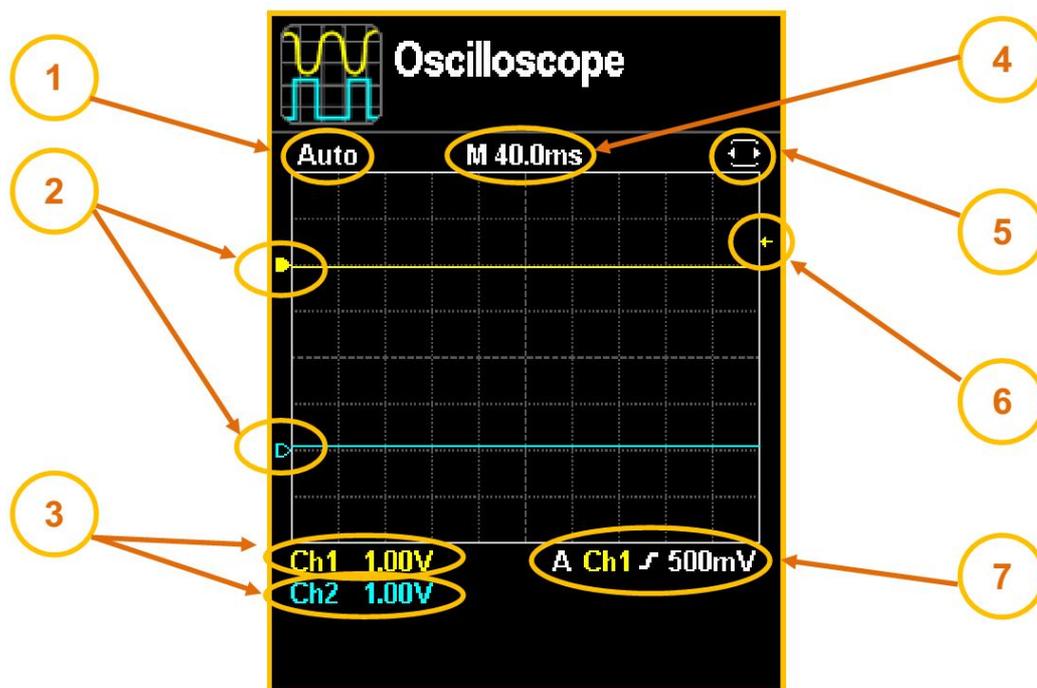


Рис. П.2.4. Работа прибора CL-550 в режиме осциллографа:
 1 – режим работы осциллографа; 2 – отметки нулевого уровня;
 3 – масштаб по вертикали (поканально); 4 – период развертки (масштаб по горизонтали); 5 – индикация настройки;
 6 – уровень точки синхронизации; 7 – параметры синхронизации

При активации режима осциллографа на экране прибора отображаются масштабная сетка, отметки нулевого уровня, отметка уровня точки синхронизации, а также параметры настройки: режим работы, период развертки (масштаб по горизонтали), масштаб по вертикали (отдельно для каждого измерительного канала), параметры синхронизации, индикация настройки.

Нажатием на кнопку 13 (см. рис. П.2.1) можно активировать меню настройки осциллографа (повторное нажатие закрывает это меню) (рис. П.2.5). Нажатие на кнопку 11 (см. рис. П.2.1) позволяет вернуться к предыдущему пункту меню. Изменение и подтверждение выбранных настроек осуществляются при помощи вращающегося селектора 10 (см. рис. П.2.1). Через меню настройки осциллографа можно выбирать режим работы, изменять период развертки (масштаб

по горизонтали), масштаб по вертикали, положение осциллограммы на экране по вертикали, канал для синхронизации, уровень точки синхронизации, положение точки синхронизации по горизонтали, момент запуска синхронизации (на нарастающем или нисходящем фронтах сигнала), тип синхронизации. Изменение масштаба по вертикали, положения осциллограммы на экране осуществляются по каждому измерительному каналу индивидуально путем выбора активного канала в меню настройки.

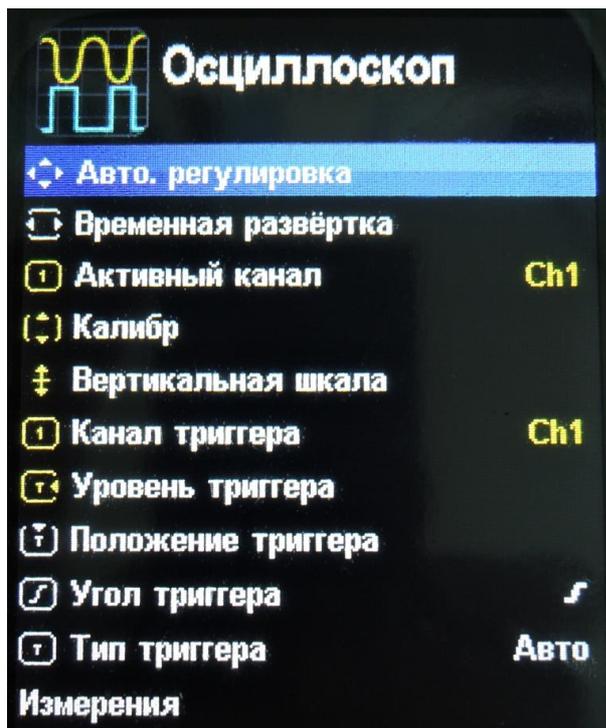


Рис. П.2.5. Меню настроек осциллографа

Однократным нажатием на селектор выбора режимов можно остановить работу осциллографа, при этом на экране сохраняются (фиксируются) результаты измерений (полученные кривые) (рис. П.2.6).

Прибор позволяет работать в режиме диагностического сканера, при этом доступны функции чтения текущих параметров, характеризующих работу ДВС, чтение кодов ошибок и удаление кодов ошибок (рис. П.2.7, П.2.8, П.2.9, П.2.10).

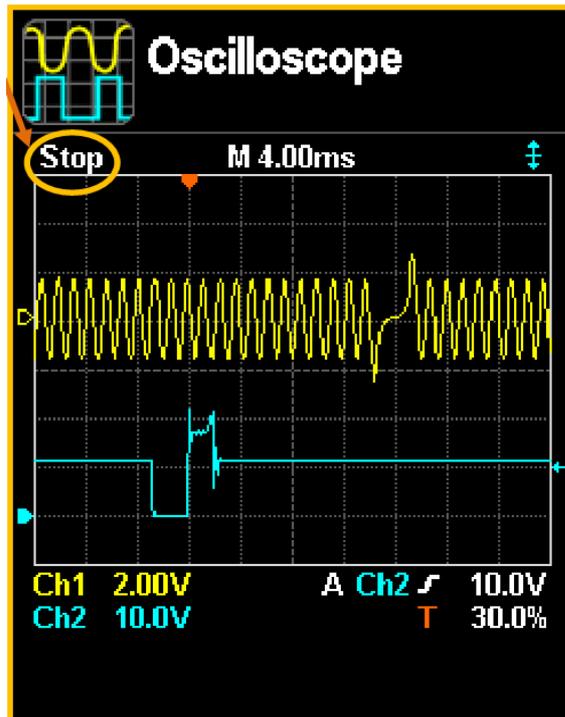


Рис. П.2.6. Фиксация результатов измерений на экране осциллографа

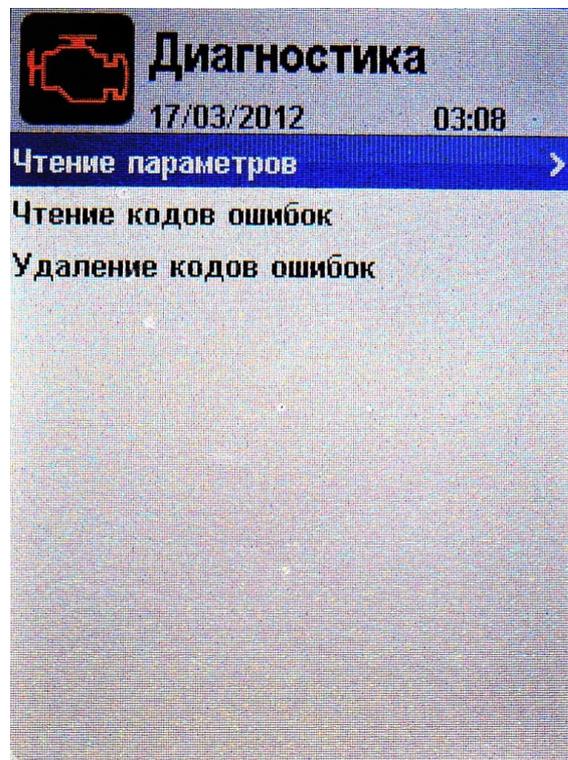


Рис. П.2.7. Доступные функции при работе в режиме диагностического сканера

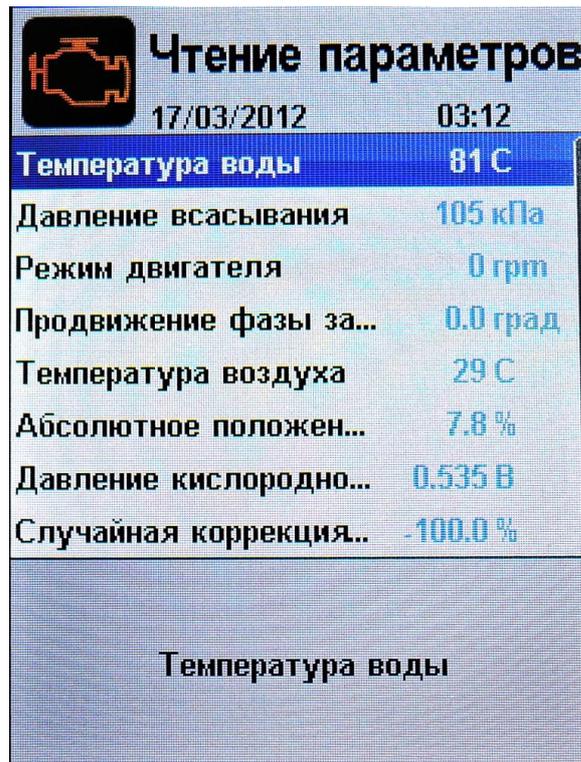


Рис. П.2.8. Чтение текущих параметров, характеризующих работу ДВС

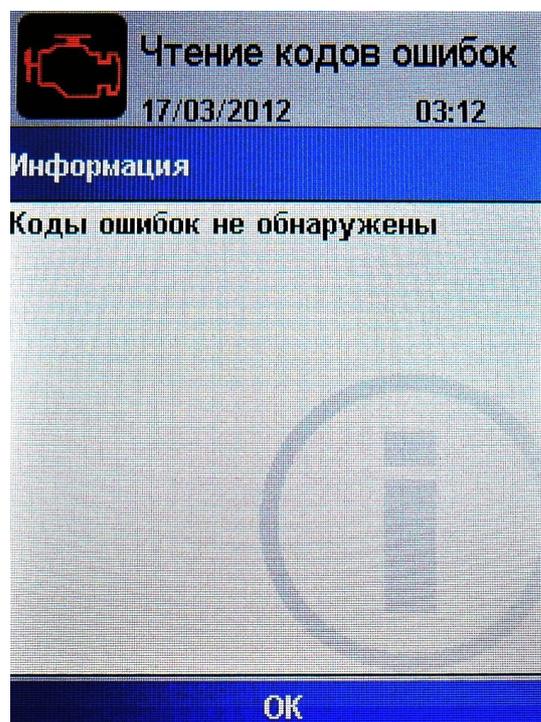


Рис. П.2.9. Чтение кодов ошибок

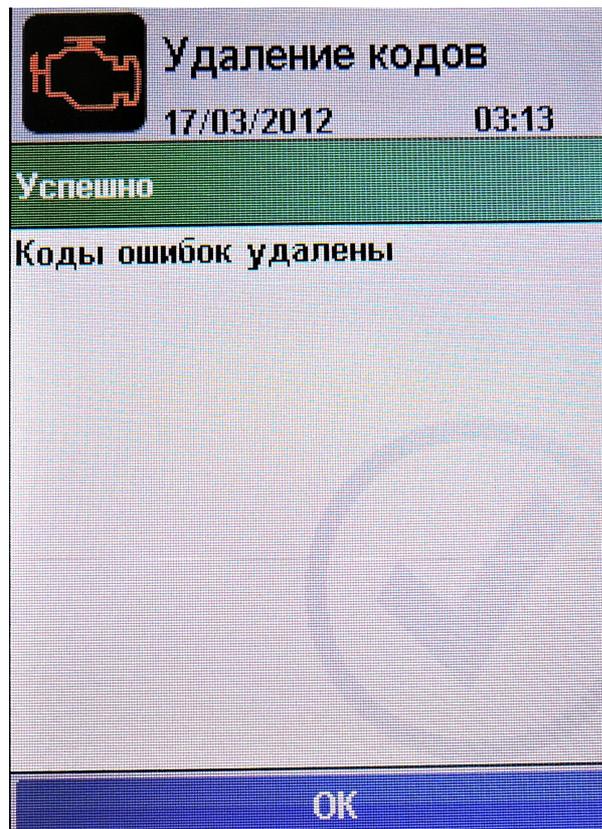


Рис. П.2.10. Удаление кодов ошибок

