

2 УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДАТЧИКОВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

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.

Рассмотрим датчики, входящие в состав ЭСУД на примере системы управления BOSCH ME 7.4.4. 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.

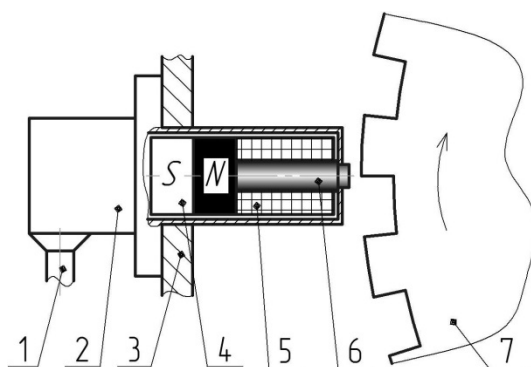
2.1 Датчик частоты вращения (положения) коленчатого вала

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 кронш-тейна.

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). Две 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).



1 – электрический кабель; 2 – корпус датчика; 3 – корпус двигателя; 4 – постоянный магнит; 5 – обмотка; 6 – сердечник; 7 – задающий диск

Рисунок 2 – Конструкция датчика частоты вращения коленчатого вала

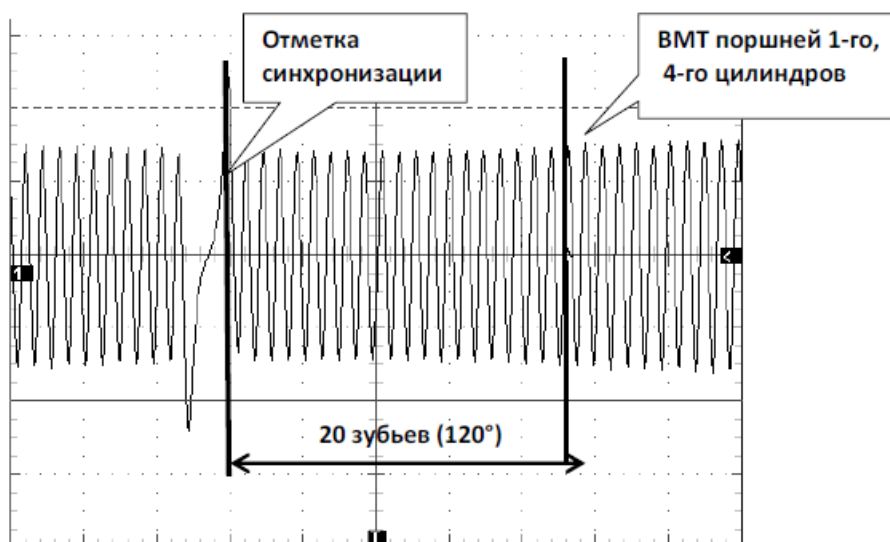


Рисунок 3 – Сигнал датчика частоты вращения коленчатого вала

Индуктивный датчик частоты вращения коленчатого вала имеет 2-х проводную схему подключения к блоку управления. Условное графическое обозначение данного датчика на электрической схеме ЭСУД (Приложение А, Рисунок А2) представлено на рисунке 4.

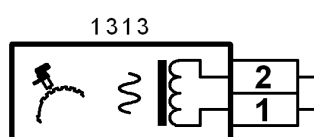


Рисунок 4 – Условное графическое обозначение индуктивного датчика частоты вращения коленчатого вала

2.2 Датчик положения распределительного вала (датчик фазы)

Датчик положения распределительного вала (датчик фазы) предназначен для определения ВМТ в 1-ом 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, на двух других параллельных гранях возникает напряжение Холла, величина напряжения Холла пропорциональна величине тока и напряженности магнитного поля (рисунок 5).

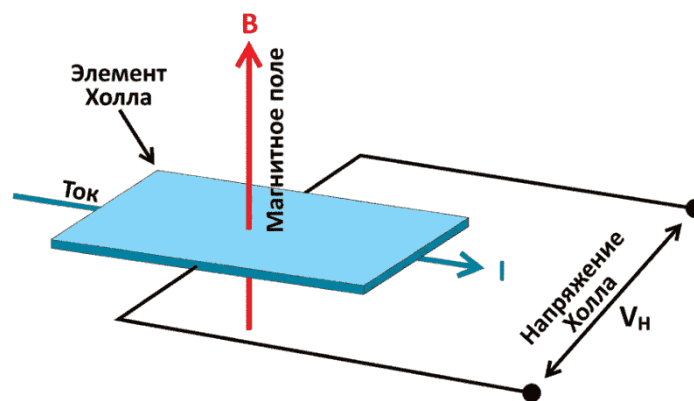
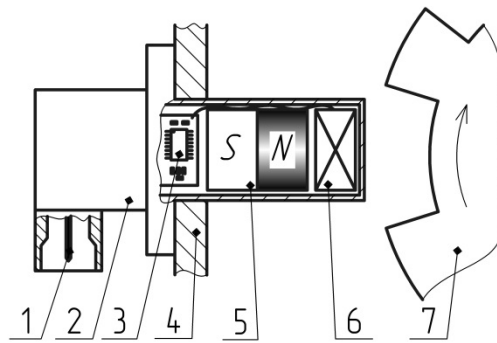


Рисунок 5 - Эффект Холла

Конструкция датчика фазы показана на рисунке 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.



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

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

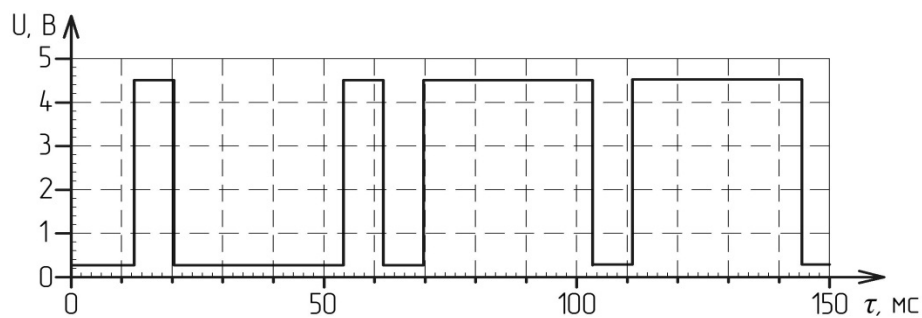


Рисунок 7 – Осциллограмма сигнала датчика фазы

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 и их временное расположение зависят от конструкции задающего диска. В

данной системе управления на распределительном валу установлен задающий диск с четырьмя выступами, причем ширина одной пары выступов больше ширины другой пары (рисунок 8), в результате при работе двигателя с датчика фазы в ЭБУ поступает периодически повторяющаяся серия импульсов: два коротких и два длинных (рисунок 8). Амплитуда импульсов составляет 4,3 - 4,8 В.

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

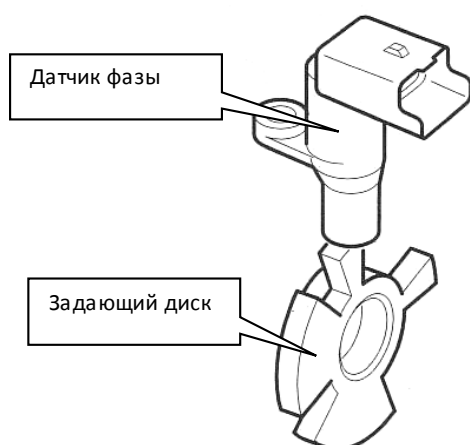
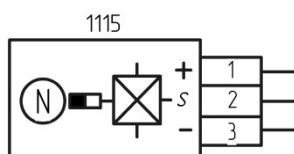


Рисунок 8 – Конструкция задающего диска датчика фазы

Датчик фазы имеет 3-х проводную схему соединения с блоком управления, один из проводников является питающим, второй - сигнальным и третий - общим (масса). Условное графическое обозначение данного датчика на электрической схеме ЭСУД (Приложение 2, рисунок 2А) показано на рисунке 9.



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

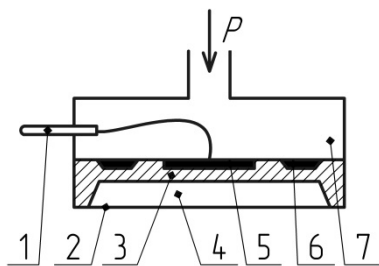
Рисунок 9. Условное графическое обозначение датчика фазы на основе эффекта Холла

2.3 Датчик абсолютного давления во впускном коллекторе

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

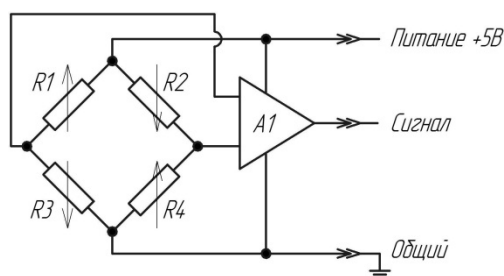
В основе работы датчика лежит тензорезистивный эффект: изменение сопротивления проводника в результате его деформации.

Конструкция датчика показана на рисунке 10. В корпусе датчика образована полость, из которой откачан воздух, в данной полости располагается чувствительный элемент – мембрана изготовленная из кремниевой пластины, методом ионной имплантации на мембране выполнены четыре тензорезистора, образующими электрическую мостовую схему (рисунок 11).



1 – электрический контакт; 2 – корпус датчика; 3 – измерительный элемент (мембрана с интегрированными тензоэлементами и схемой обработки); 4 – вакуумированный объем; 5 – схема обработки; 6 – тензоэлемент; 7 – рабочий объем

Рисунок 10 – Конструкция датчика абсолютного давления



R1, R2, R3, R4 – тензорезисторы; A1 – операционный усилитель

Рисунок 11 – Электрическая схема датчика абсолютного давления

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 5 вольт.

Напряжение на сигнальном выводе датчика абсолютного давления пропорционально давлению воздуха во впускном коллекторе (Рисунок 12).

Датчик абсолютного давления во впускном коллекторе имеет 3-х проводную схему соединения с блоком управления, один из проводников является питающим, второй - сигнальным и третий – общим (масса). Условное графическое обозначение данного датчика на электрической схеме ЭСУД (Приложение 2, рисунок 2А) показано на рисунке 13.

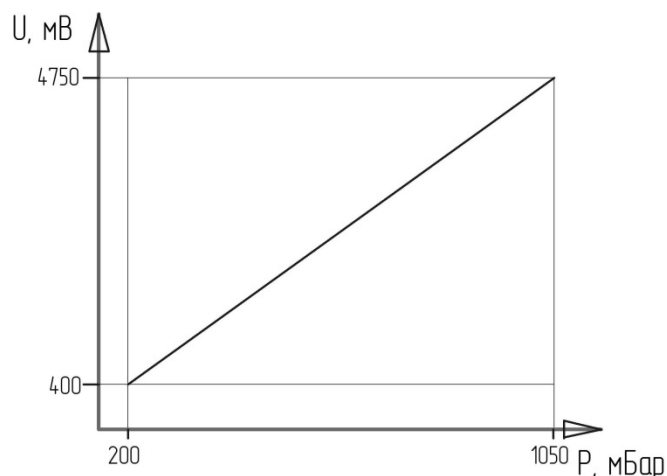
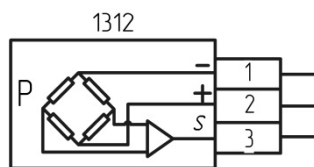


Рисунок 12 – Градуировочная характеристика датчика абсолютного давления



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

Рисунок 13 - Условное графическое обозначение датчика
абсолютного давления

2.4 Датчики температуры

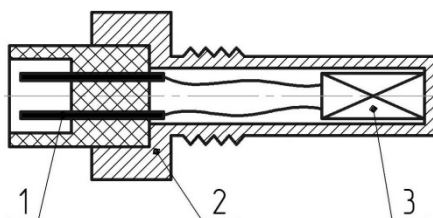
Для корректирования параметров топливоподачи и угла опережения зажигания необходима информация о температуре охлаждающей жидкости и температуре воздуха во впускном коллекторе, данная информация поступает с соответствующих датчиков температуры.

Датчик температуры охлаждающей жидкости устанавливается в потоке охлаждающей жидкости двигателя, 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 рисунке 14.



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

Рисунок 14 – Конструкция датчика температуры охлаждающей жидкости

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 рисунке 15 а, б.

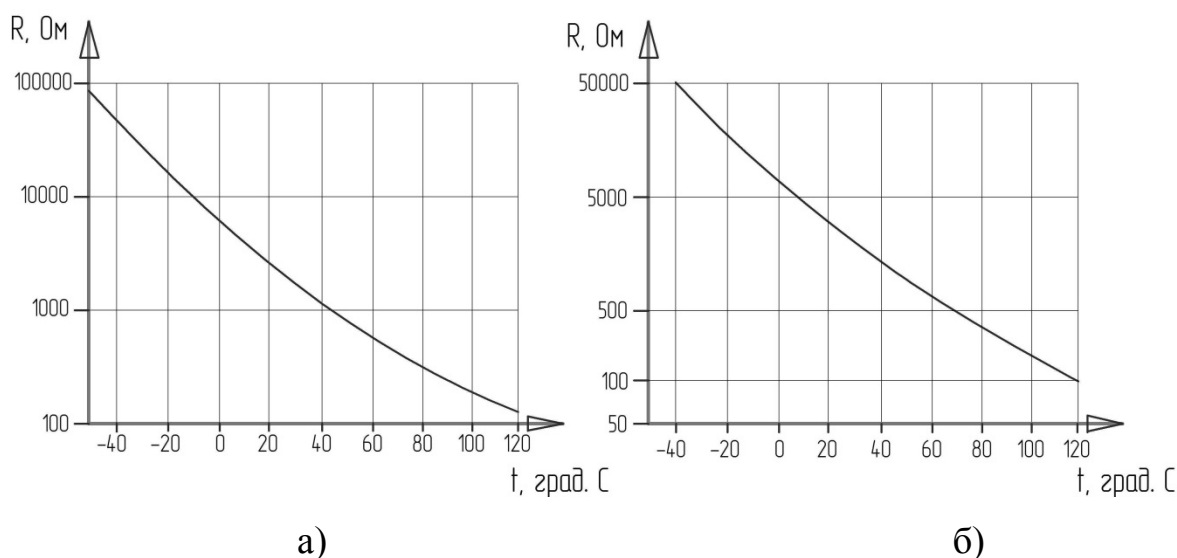
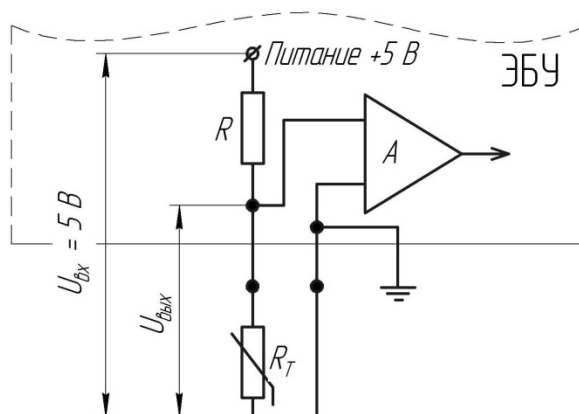


Рисунок 15 – Градуировочные характеристики датчиков температуры охлаждающей жидкости а), поступающего воздуха б)

Датчики температуры имеют 2-х проводную схему подключения к блоку управления (рисунок 16).



R – постоянное сопротивление; R_T – термистор датчика температуры;

A – схема обработки сигнала ЭБУ

Рисунок 16 – Электрическая схема подключения датчиков температуры

Термистор датчика температуры образует совместно с постоянным сопротивлением (резистором) определенной величины, встроенным в блок управления, цепь делителя напряжения (рисунок 15). В цепь делителя напряжения блоком управления подается электрический ток с напряжением 5 В. Напряжение в точке подключения терморезистора к резистору в блоке управления (падение напряжения на термисторе) зависит от температуры контролируемой среды, при увеличении температуры напряжение уменьшается и наоборот. Данное напряжение поступает на аналого-цифровой преобразователь блока управления и является мерой температуры среды, в которую помещен датчик.

Условные графические обозначения датчиков температуры на электрической схеме ЭСУД (Приложение 2, рисунок 2А) представлены на рисунке 17 а, б.

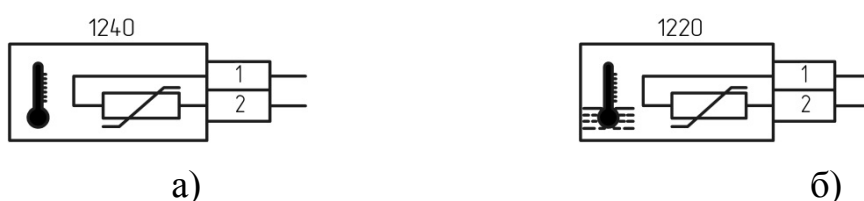


Рисунок 17 - Условное графическое обозначение датчиков температуры воздуха (а), охлаждающей жидкости (б)

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, 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, расположенный в модуле управления дроссельной заслонкой 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 (рисунок 18).

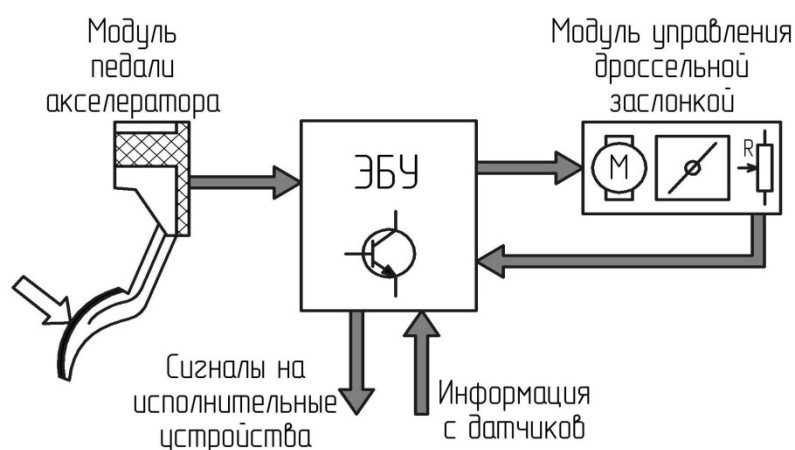
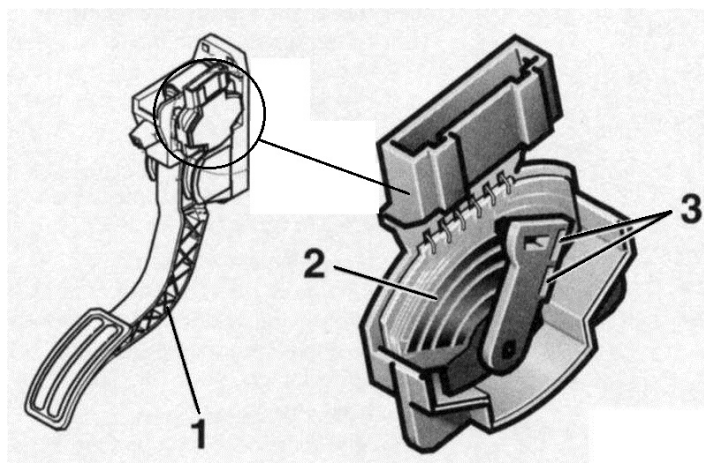


Рисунок 18 – Принцип действия системы «E-gas»

К достоверности 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. Конструкция датчика положения педали акселератора показана на рисунке 19.

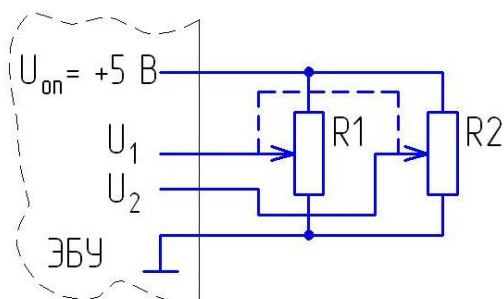


1– педаль акселератора; 2 – резистивные дорожки; 3 – подвижные контакты

Рисунок 19 – Конструкция датчика положения педали акселератора

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

Датчик положения педали акселератора в данном случае имеет 4-х проводную схему подключения к блоку управления, электрическая схема подключения данного датчика представлена на рисунке 20.



$R1, R2$ – потенциометры датчика;

U_1, U_2 – напряжения на сигнальных выводах датчика

Рисунок 20 – Электрическая схема подключения датчика положения педали акселератора к блоку управления

Один из крайних выводов каждого потенциометра подключается к массе блока управления, другой крайний вывод соединяется 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.

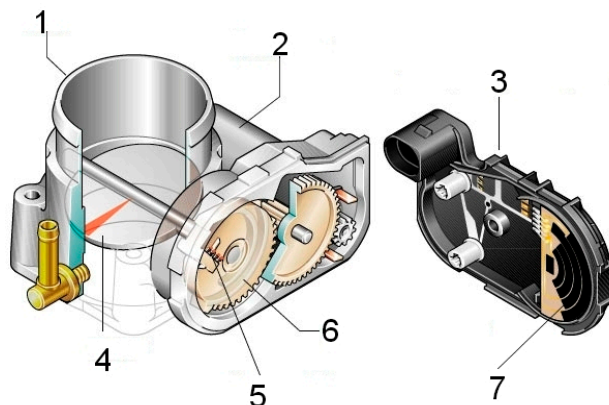
Значения напряжений U_1 и U_2 прямопропорциональны величине отклонения педали акселератора относительно нейтрального положения (Рисунок 23 а). При любом положении педали акселератора постоянно соотношение напряжений $U_1 / U_2 = 2$.

Датчик положения дроссельной заслонки расположен в модуле управления дроссельной заслонкой. Устройство модуля управления дроссельной заслонкой показана на рисунке 21.

Конструкция датчика положения дроссельной заслонки аналогична конструкции датчика положения педали акселератора, за исключением схемы подключения потенциометров к блоку управления.

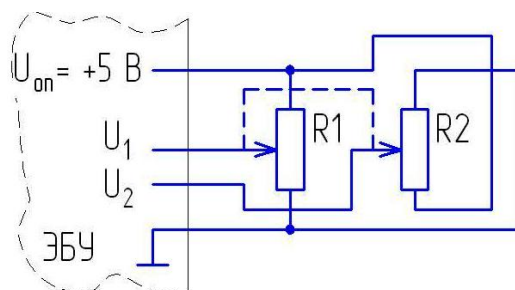
Датчик положения дроссельной заслонки в данном случае имеет 4-х проводную схему подключения к блоку управления, электрическая схема подключения данного датчика представлена на рисунке 22.

Один из крайних выводов каждого потенциометра подключается к массе блока управления, другой крайний вывод соединяется источником опорного напряжения $U = +5\text{ В}$. 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.



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

Рисунок 21 – Устройство модуля управления дроссельной заслонкой



R1, R2 – потенциометры датчика

Рисунок 22 – Электрическая схема подключения датчика педали акселератора к блоку управления

Значение напряжения U_1 прямопропорционально, значение напряжения U_2 обратнопропорционально величине отклонения дроссельной заслонки (Рисунок 23 б). При любом положении дроссельной заслонки справедливо выражение $U_1 + U_2 = 5 \text{ В}$.

Условные графические обозначения датчиков положения педали акселератора и положения дроссельной заслонки на электрической схеме ЭСУД (Приложение 2, рисунок 2А) представлены на рисунках 24, 25.

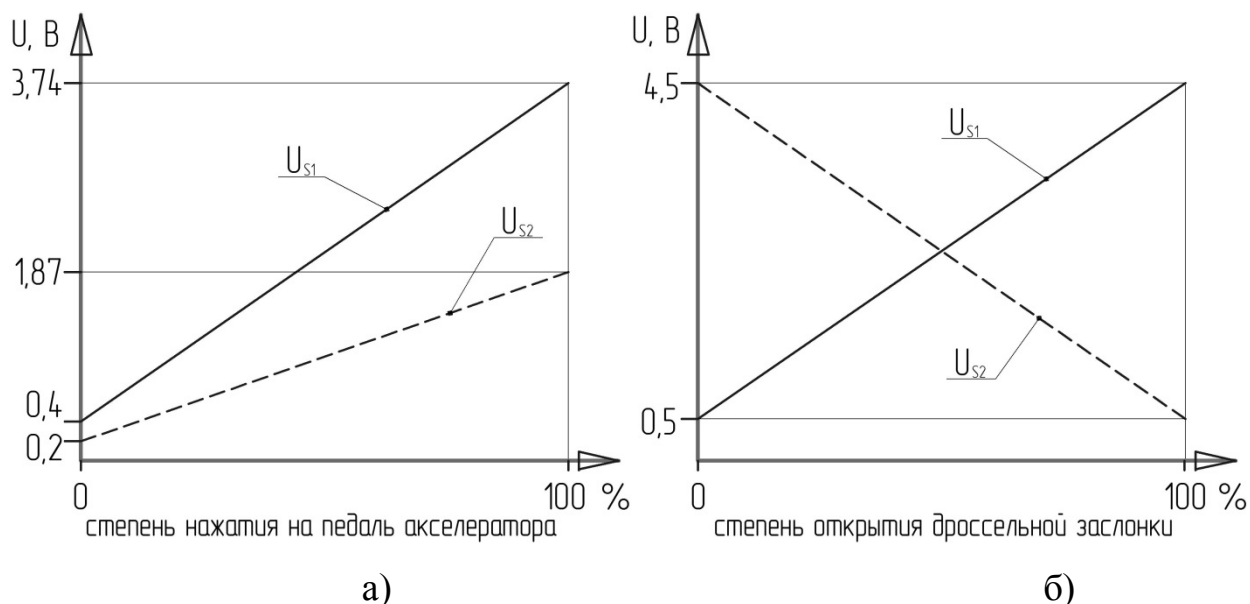
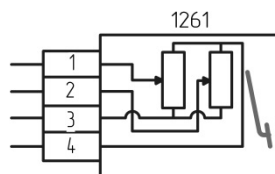
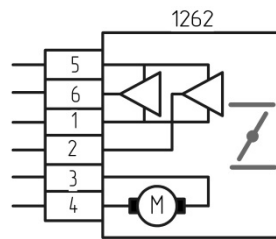


Рисунок 23 – Градуировочные характеристики датчиков положения педали акселератора а), положения дроссельной заслонки б)



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

Рисунок 24 - Условное графическое обозначение датчика положения педали акселератора



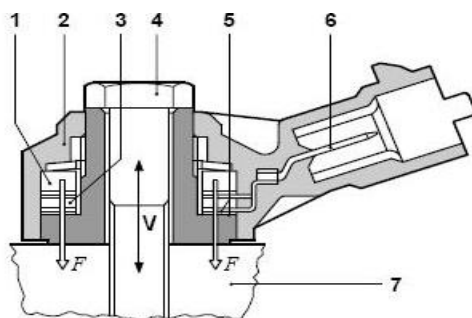
1 – питание +5 В; 2,6 – сигнальные выходы датчика; 3,4 – управление электродвигателем привода; 5 – общий вывод (масса)

Рисунок 25 - Условное графическое обозначение модуля управления дроссельной заслонкой

2.6 Датчик детонации

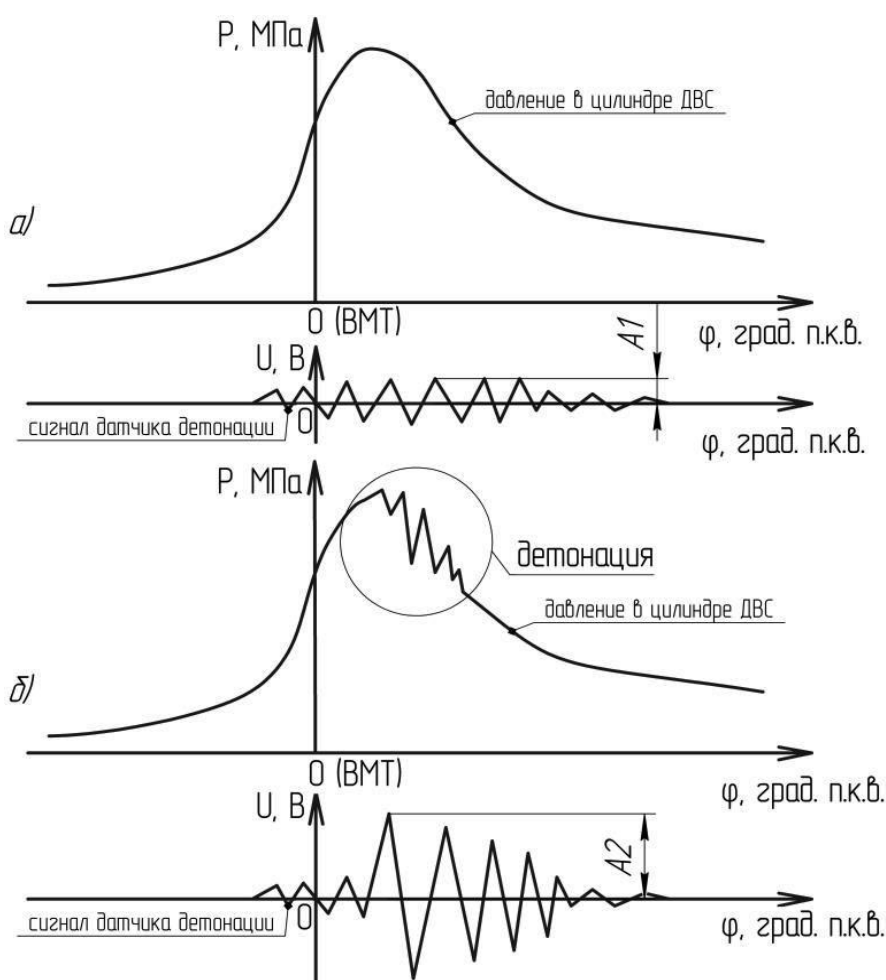
Датчик детонации служит для выявления наличия детонационного сгорания при работе двигателя. Принцип действия датчика детонации основан на пьезоэффекте. В данной системе управления применяется датчик детонации широкополосного типа, который установлен на блоке цилиндров двигателя. Датчик воспринимает вибрации идущие от стенок блока цилиндров. Конструкция датчика детонации показана на рисунке 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 в виде переменного напряжения. Чем больше амплитуда и частота колебаний, тем выше напряжение. При детонационном сгорании топливовоздушной смеси амплитуда вибраций блока цилиндров двигателя увеличивается, что вызывает увеличение амплитуды напряжения электрического сигнала датчика (рисунок 27).



1 – сейсмическая масса (шайба); 2 – корпус; 3 – пьезокерамический элемент; 4 – болт крепления; 5 – втулка; 6 – вилка; V – колебания

Рисунок 26 – Конструкция датчика детонации



а) детонация отсутствует; б) детонационное сгорание;

A1, A2 – амплитуды сигналов датчика детонации соответственно в случае отсутствия, наличия детонации

Рисунок 27 – Работа датчика детонации

Условное графическое обозначение датчика детонации на электрической схеме ЭСУД (Приложение 2, рисунок 2А) представлено на рисунке 28.

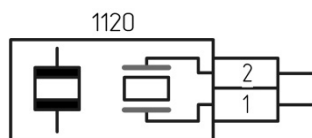
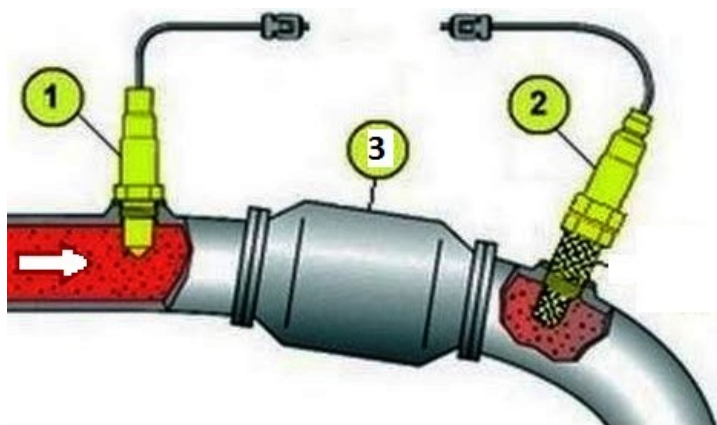


Рисунок 28 – Условное графическое изображение датчика детонации

2.7 Датчики кислорода

На современном автомобиле проблемы нейтрализации токсичных веществ в выхлопных отработавших газах решаются с 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 (рисунок 29).



1,2 – соответственно регулировочный и диагностический датчики кислорода; 3 – каталитический нейтрализатор

Рисунок 29 – Расположение датчиков кислорода в выпускном тракте двигателя

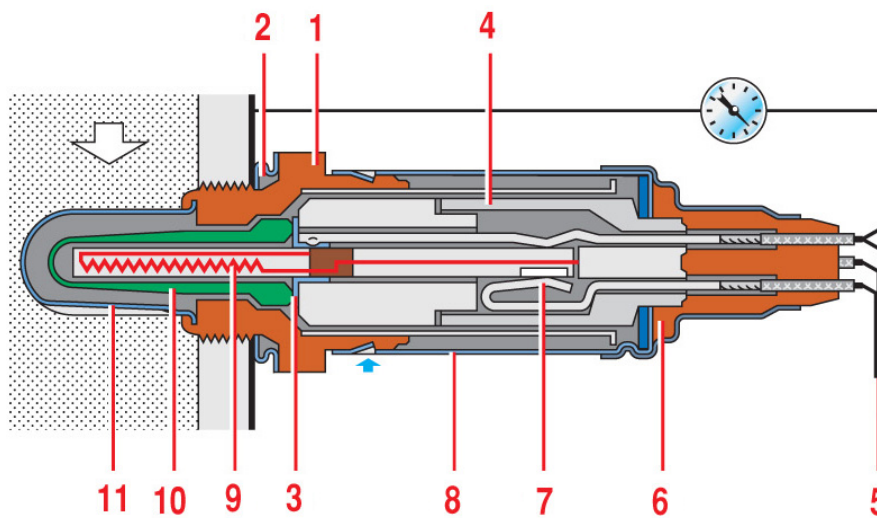
Датчик кислорода предназначен для определения концентрации кислорода в отработавших газах. Применение датчика кислорода позволяет управлять топливоподачей по замкнутому контуру с обратной связью с целью поддержания стехиометрического состава смеси, при которой наиболее эффективно работает каталитический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

Регулировочный датчик кислорода вырабатывает сигнал обратной связи для электронного блока управления впрыском, который корректирует состав топлива воздушной 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.

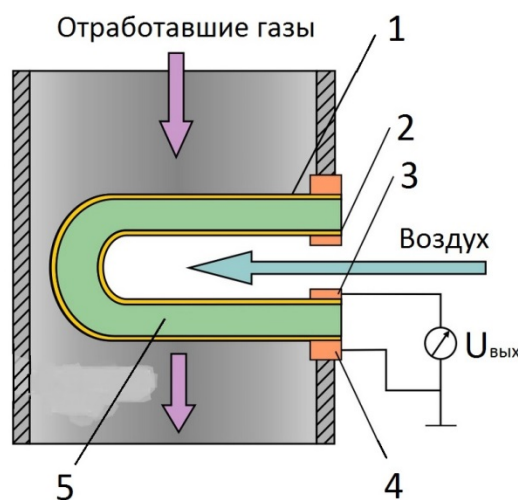
Конструкция датчик кислорода в целом показана на рисунке 30, конструкция чувствительного элемента приведена на рисунке 31.

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.



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

Рисунок 30 – Конструкция датчика кислорода



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

Рисунок 31 – Конструкция чувствительного элемента датчика кислорода

При нагреве до определенной температуры (более 350 °С) диоксид циркония приобретает свойства электролита и между электродами датчика возникает разница потенциалов, вследствие движения ионов в твердом электролите обусловленного 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) (рисунок 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 (рисунок 32). Такое резкое падение напряжения на выходе датчика при переходе от обогащенной к обедненной смесям позволяет с высокой точностью определять стехиометрический состав смеси.

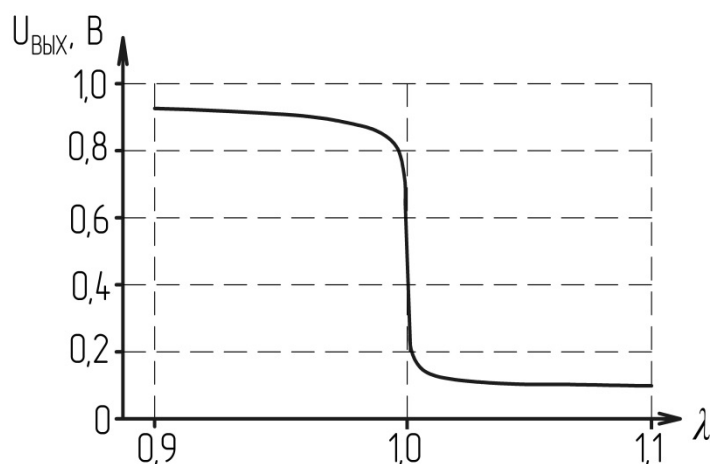


Рисунок 32 – Зависимость выходного напряжения бинарного циркониевого датчика кислорода от коэффициента избытка воздуха рабочей смеси (характеристическая кривая напряжения для рабочей температуры 600 °С)

Выходное напряжение датчика кислород зависит от температуры, средняя рабочая температура 600 °С. 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 $U_{оп} = 450$ 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 топливо-воздушной смеси. Генерируемое напряжение перекрывает опорное. Изменение напряжения в цепи регулировочного датчика кислород 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 (Рисунок 33). Частота колебаний выходного напряжения датчика находится в диапазоне 0,5 – 10 Гц. При этом, в случае нормальной работы каталитического нейтрализатора, выходное напряжение диагностического датчика находится на практически постоянном уровне (Рисунок 33).

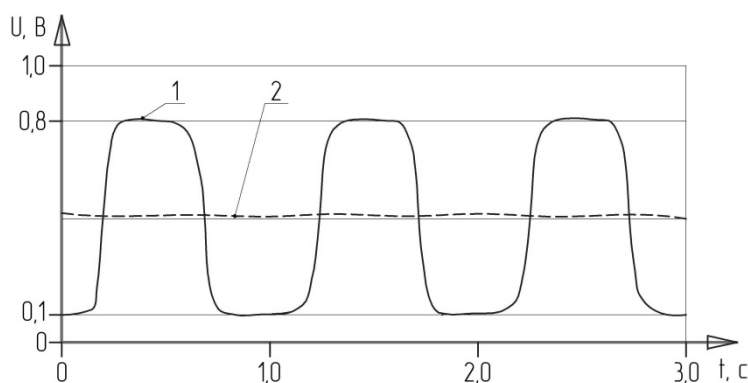
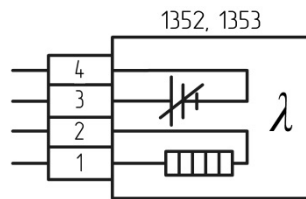


Рисунок 33 – Осциллограмма сигналов регулировочного 1),
диагностического 2) датчиков кислорода

Условное графическое обозначение датчика кислорода на электрической схеме ЭСУД (Приложение 2, рисунок 2А) представлено на рисунке 34.



1 ,2 – выводы нагревательного элемента;

3,4 –выводы чувствительного элемента

Рисунок 34 – Условное графическое изображение датчика кислорода