

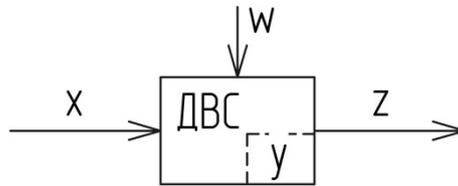
5 ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

5.1 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 определенных 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 (рисунок 1).



x – входные (управляющие) параметры; y – внутренние параметры (параметры состояния); z – выходные (управляемые) параметры; w – внешние (возмущающие) воздействия

Рисунок 1 – ДВС как объект управления

Входные (управляющие) параметры – параметры, влияющие 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 – параметры, характеризующие 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) – параметры, характеризующие рабочие процессы, состояние обеспечивающих систем, конструктивные особенности ДВС.

Внешние (возмущающие) воздействия – воздействия, носящие случайный характер и мешающие управлению, к ним относят: изменение стандартных атмосферных условий – температуры наружного воздуха, атмосферного давления, влажности, 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 режим двигателя, воздействуя на передаточное отношение трансмиссии автомобиля и педаль акселератора. Выходные характеристики ДВС при этом в основном зависят от количества и состава топливовоздушной смеси, угла опережения зажигания, управление которыми осуществляется с помощью ЭСУД автоматически (рисунок 2).

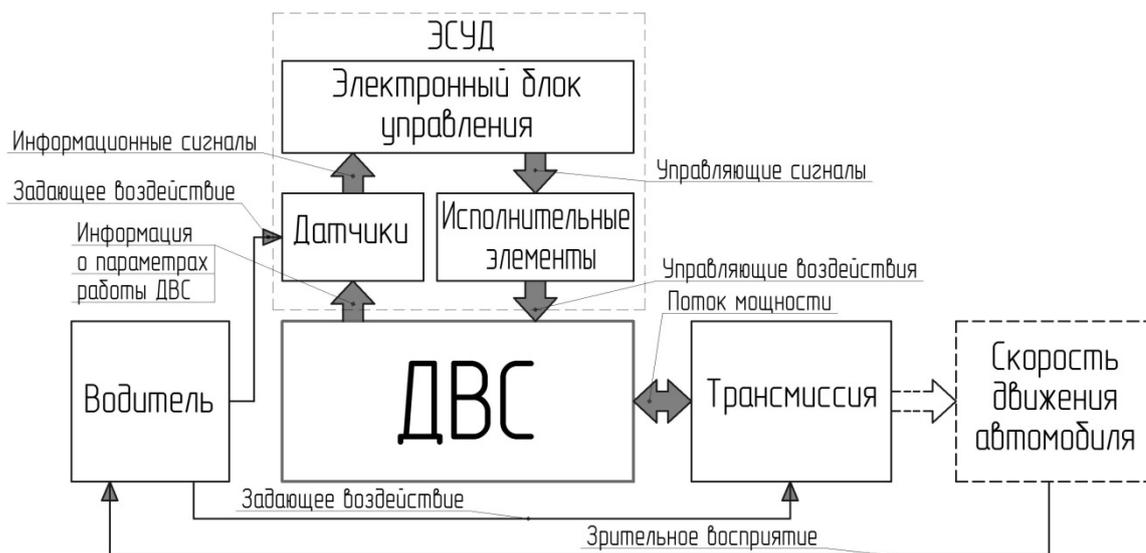


Рисунок 2 – Управление ДВС при движении автомобиля

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, т.к. 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.

Автомобильные ДВС в эксплуатации работают 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 сказанного выше видно, что автомобильный ДВС является сложным объектом управления.

5.2 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 так же 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 рисунке 3.

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, 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 на 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.

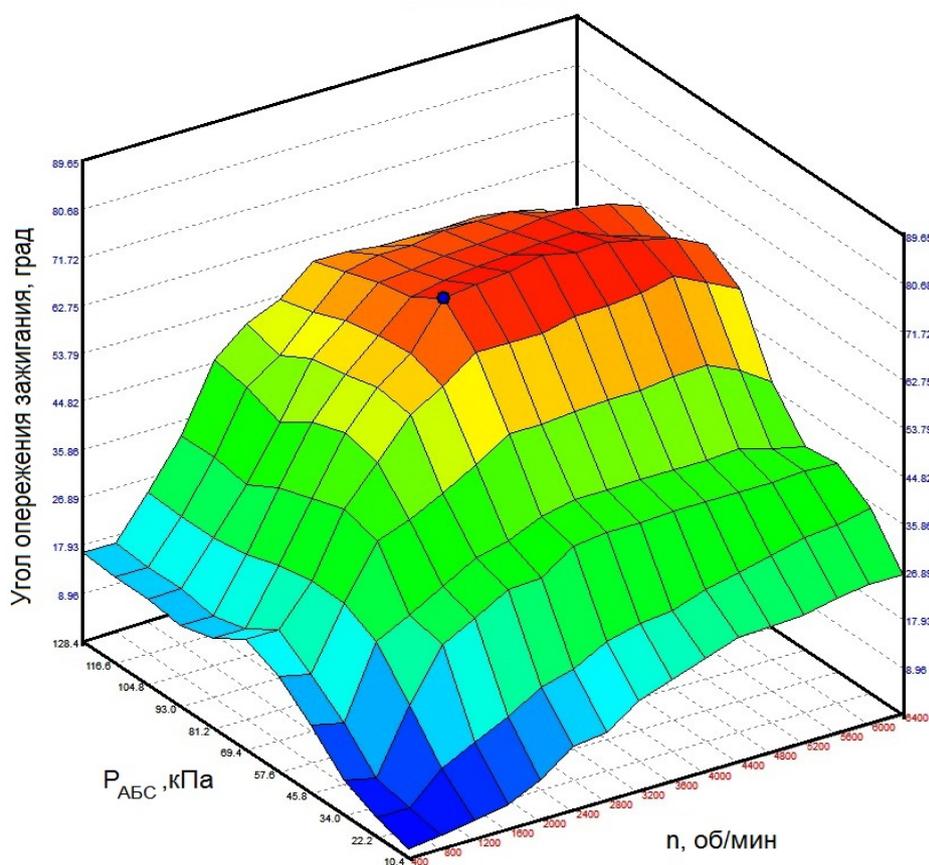


Рисунок 3 – Пример характеристической карты в виде трехмерного графика: зависимость угла опережения зажигания от частоты вращения коленчатого вала – n и давления во впускном коллекторе – $P_{абс}$

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 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 в процессе эксплуатации 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. Так же, в силу технологического разброса параметры выпускаемых ДВС случайным образом изменяются 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 например, 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 и в случае необходимости корректирует управляющие параметры, т.е. 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 используются 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 топливо - воздушной 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.

5.3 Общие сведения об устройстве и функционировании ЭБУ ЭСУД

Рассмотрим функционирование ЭСУД на примере системы управления BOSCH ME 7.4.4.

Структурная схема ЭСУД ДВС BOSCH ME 7.4.4. показана на рисунке 4.

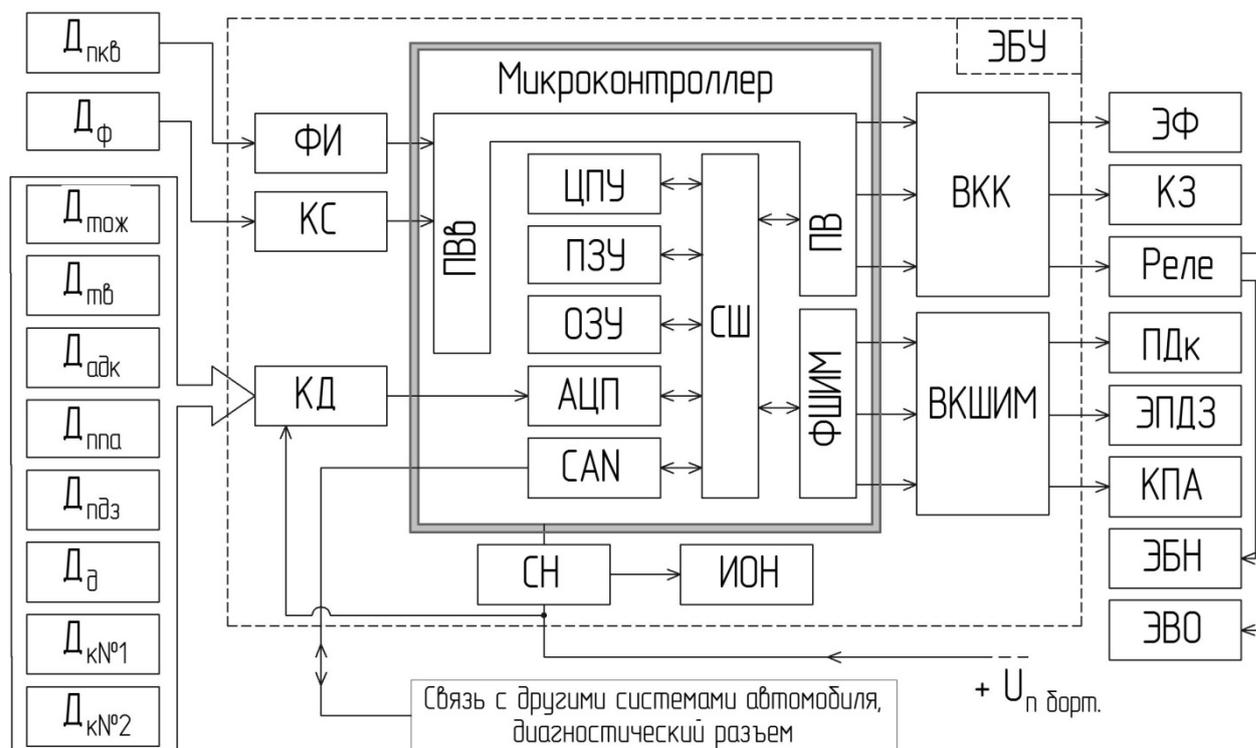


Рисунок 4 – Структурная схема ЭСУД BOSCH 7.4.4.

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; $D_{пдз}$ – датчик положения дроссельной заслонки; $D_{д}$ – датчик детонации; $D_{кN1}$, $D_{кN2}$ – 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 – аналого – 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 электроклапанов системы охлаждения ДВС); ПДк – подогреватели датчиков кислорода; ЭПДЗ – электродвигатель привода дроссельной заслонки; КПА – электромагнитный клапан продувки адсорбера; ЭБН – электрический топливный насос; ЭВО – электроклапан системы охлаждения ДВС.

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.

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), аналого – 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. (рисунок 1).

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 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 так же 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 воспринимаемыми 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 с переменной скважностью. Для формирования управляющих сигналов с ШИМ предназначен ФШИМ.

Коммутирующие сигналы используются для включения – 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, системой пассивной безопасности, климат - контроля, противоугонной системой 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 алгоритмы управления.

5.4 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:

- режим пуска;
- режим продувки цилиндров;
- режим прогрева двигателя;
- режим частичных нагрузок;
- режим ускорения;
- режим замедления;
- режим полной мощности;
- режим холостого хода;
- режим принудительного холостого хода;
- режим ограничения максимальной частоты вращения.

Работа ДВС на данных режимах обеспечивается ЭСУД и описана ниже.

а) 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, при

этом, для ускорения запуска ДВС, 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 вследствие 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 так же 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.

б) 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 после неудачных попыток пуска топлива.

в) Режим прогрева ДВС

После пуска холодного ДВС ЭБУ определенное время будет управлять системой подачей топлива в режиме открытого цикла - без обратной связи по сигналу датчику 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 топливо – воздушной 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. Так же 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. На данном режиме обеспечивается коэффициент избытка воздуха, равный единице (стехиометрический состав топливовоздушной смеси). Угол опережения зажигания при этом устанавливается в соответствие с частотой вращения коленчатого вала, давления во впускном коллекторе и температуры охлаждающей жидкости.

г) 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 подаётся топливо - воздушная смесь стехиометрического состава.

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

д) 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. На данном режиме осуществляется

управление 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.

е) Режим замедления

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

ж) 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. На данном режиме осуществляется управление 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.

з) 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 произойдет 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.

и) 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 циркулирующей 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 на режиме холостого хода варьируется и может достигать значительной величины, 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, тем самым изменяя цикловое наполнение, а так же 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.

к) 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.

5.6 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 топливовоздушной 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 $V_{оп} = 0,45$ 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 дольше 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 1...5%. – Пример временных диаграмм работы контура обратной связи по сигналу датчика кислорода показан на рисунке 5.

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.

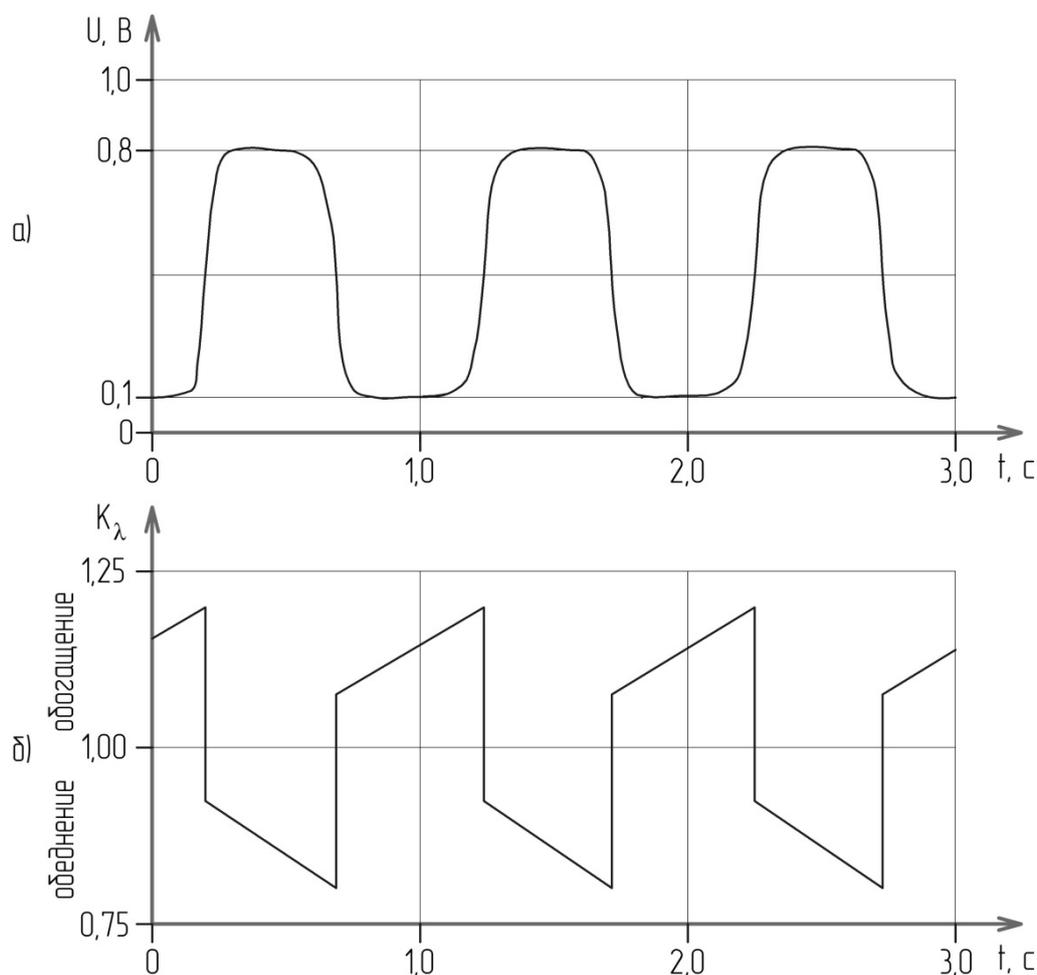


Рисунок 5 – Пример временных диаграмм работы контура обратной связи по сигналу датчика кислорода:

- а) изменение выходного напряжения первого датчика кислорода;
- б) изменение значения корректирующего коэффициента K_λ

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.

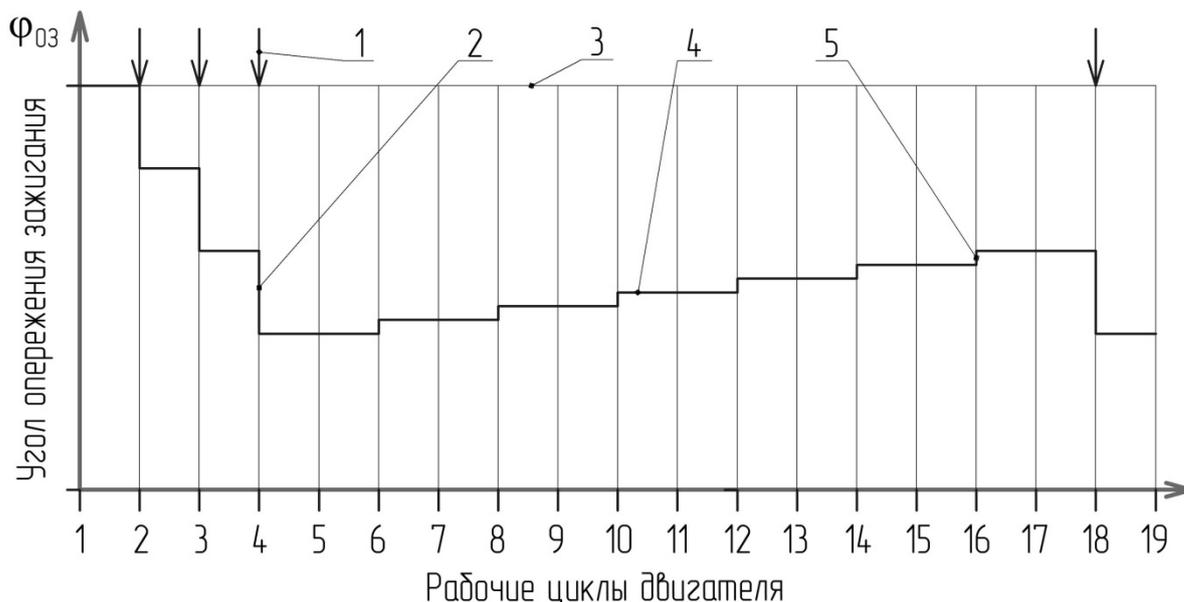
Текущая корректировка обнуляется при каждом выключении зажигания. Корректировка самообучением хранится в памяти ЭБУ до отключения электропитания.

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

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

Значения угла опережения зажигания, обеспечивающее 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, и 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 рисунке 6.



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

Рисунок 6 – Пример временной диаграммы работы контура обратной связи по сигналу датчика детонации в одном из цилиндров бензинового ДВС

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.