

УДК 621.43:681.5

DOI: 0.30987/article_5c652636ed2364.01780757

Е.В. Дмитриевский, Р.А. Новиков, А.А. Обозов

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ УПРАВЛЕНИИ

Рассмотрены исполнение, принцип действия, технические и регулировочные характеристики системы электронного управления двигателем внутреннего сгорания, оптимизация показателей

различных систем и устройств двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, электронная система управления, оптимизация показателей.

E.V. Dmitrievsky, R.A. Novikov, A.A. Obozov

OPTIMIZATION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES INDICES AT ELECTRONIC CONTROL

The paper reports the consideration of design, a principle of operation, engineering and adjusting characteristics of the electronic control system of the inter-

nal combustion engine, index optimization of different systems and devices of internal combustion engines.

Key words: internal combustion engine, electronic control system, index optimization.

Целью современного подхода к управлению двигателями внутреннего сгорания (ДВС) является оптимизация управления (достижение поставленных целей наилучшим образом с точки зрения принятого критерия при наличии ограничений). Оптимизацией является получение необходимого качества двигателя за счет устранения избыточности показателей, то есть осуществления полного и эффективного использования имеющихся возможностей, заложенных в конструкцию двигателя, применяемых в нем материалов и технологии изготовления каждого его образца [3]. Оптимизация имеет смысл только при наличии обобщенного показателя качества – критерия оптимальности (или целевой функции), достаточно ощутимо отражающего эффективность управления. Важна также доступность критерия оптимальности, возможность его определения и использования в системе управления. В общем случае качество двигателя определяется совокупностью технических, экономических и экологических показателей. Среди этих показателей есть как непосредственно управляемые, так и предопределяемые возможностями микропроцессорной системы управления (МПСУ) [2].

Ключевым элементом МПСУ является электронный блок управления двигателем (Engine Control Unit, ECU). Электронный блок управления двигателем (ЭБУ) представляет собой программируемое электронное устройство (рис. 1), которое является сочетанием аппаратного и программного обеспечения [1]. ЭБУ является электронной платой, которая размещается в корпусе из пластика или металла для надежной защиты контроллера. Электрон-

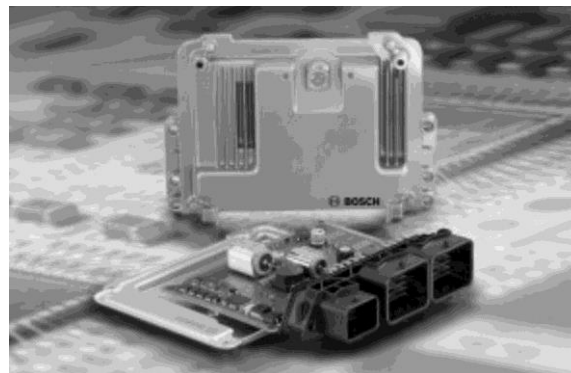


Рис. 1. Внешний вид электронного блока управления двигателем

ная плата ЭБУ включает в себя микропроцессор и запоминающие устройства. Блок управления имеет специальные внешние разъемы на корпусе. Обычно таких разъемов два, они представляют собой выве-

денные наружу корпуса элементы контроллера. Первый разъем позволяет осуществить подключение блока управления к бортовой сети автомашины. Вторым разъемом (диагностический разъем ЭБУ) используется для подключения сканирующего устройства (сканера).

Электронный блок управления двигателем имеет на своей плате несколько типов памяти. Существует постоянная память, в которой содержатся базовые микропрограммы и записаны ключевые параметры для нормальной работы ДВС. На плате ЭБУ дополнительно присутствует оперативная память, которая позволяет блоку управления динамично обрабатывать поступающие данные от датчиков, а также кратковременно сохранять определенные результаты.

Еще одним элементом является отдельное запоминающее устройство, в котором хранится временная информация о том, сколько времени проработал ДВС, какой километраж был пройден, количество потребленного топлива, коды блокировок или доступа, коды ошибок двигателя и т.д. Информацию из этого устройства можно удалить (стереть или сбросить код ошибки в ЭБУ).

Программы ЭБУ разделяются на два типа модулей: функциональный и контрольный модули программного обеспечения блока управления двигателем [1]. Функциональный модуль принимает и обрабатывает полученные данные, а также отправляет импульсы на исполняющие устройства. Контрольный модуль следит за тем, чтобы сигналы от датчиков находились в допустимых рамках применительно к изначально заданным параметрам. Если контрольный модуль фиксирует отклонения от прописанных параметров, но они еще находятся в допустимых пределах, то тогда осуществляется коррекция. В случае серьезного сбоя контрольный модуль ЭБУ блокирует работу двигателя. Программное обеспечение ЭБУ поддается коррекции. Блок управления двигателем можно «перепрошить», тем самым изменив штатную программу и внося изменения в базовые настройки и параметры работы сило-

вого агрегата. Данный способ получил название «чип-тюнинг».

Сбои и ошибки двигателя записываются в память ЭБУ. ЭБУ имеет встроенную систему диагностики. Если контроллер фиксирует отклонение, ошибку или сбой в работе двигателя, то на приборной панели загорается соответствующая пиктограмма (обычно желтого или красного цвета) или же информационная надпись «check-engine».

Возникающие ошибки в работе двигателя имеют индивидуальный код. Коды ошибок хранятся в ЭБУ, так как записываются в память запоминающего устройства на плате контроллера. Для диагностики и выявления неисправностей к блоку управления двигателем подключается специальный сканер через диагностический разъем ЭБУ. Сканер считывает коды ошибок (расшифровывает) и отображает их на дисплее. По этим данным можно получить представление о том, в каком состоянии находится двигатель и какие он имеет неисправности.

Исполнительные устройства конструктивно являются составными частями различных систем силового агрегата. Схемы электронного регулирования обеспечивают возможность гибко и динамично осуществлять оптимизацию как важнейших базовых, так и второстепенных параметров в процессе работы двигателя. Управление посредством ЭБУ осуществляется применительно к разным режимам работы двигателя.

Датчики двигателя передают на ЭБУ аналоговые сигналы, которые зачастую являются сигналами об изменении напряжения. Полученные сигналы преобразуются компонентом блока управления – аналого-цифровым преобразователем – в цифровой формат. Наличие такого компонента обусловлено тем, что микроконтроллер ЭБУ работает только с цифровым сигналом. Обратная схема производит повторное преобразование цифрового сигнала микропроцессора – в аналоговый сигнал для аналоговых управляющих воздействий на исполнительные устройства. В этих случаях преобразование сигнала из цифро-

вого в аналоговый осуществляет цифро-аналоговый преобразователь.

Данные микропроцессорной системы управления, куда входит ЭБУ, в совокупности влияют на мощностную характеристику ДВС, величину крутящего момента, экономичность двигателя, а также на токсичность выхлопных газов.

Каждая отдельная электронная система автомобиля имеет свой собственный блок управления. Все блоки объединяются в единую связанную схему благодаря специальной CAN-шине (Controller Area Network). Связанные шиной блоки иногда

называются компьютером автомобиля, а количество контроллеров может достигать до 80 (рис. 2) [5].

В число непосредственно управляемых МПСУ технических показателей двигателя внутреннего сгорания входят: частота вращения, крутящий момент, давление и температура в системах топливоподачи, давление и температура наддувочного воздуха, давление и температура смазочного масла, температура охлаждающей жидкости, содержание кислорода в отработавших газах и др.

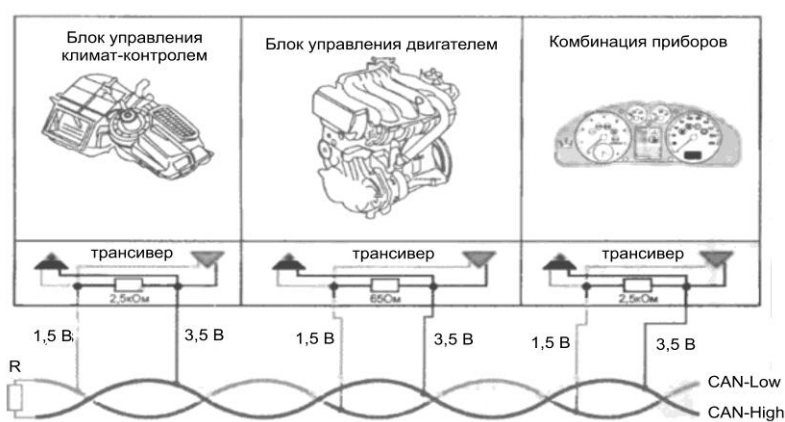


Рис. 2. Бортовая сеть и CAN-шина ЭБУ

Важными непосредственно управляемыми из экономических и эксплуатационных показателей являются текущий расход топлива и расход воздуха.

Непосредственно управляемыми микропроцессорной системой управления являются экологические показатели: состав и количество вредных выбросов, уровень и спектр шума и вибрация.

Повышение показателей качества двигателя достигается оптимизацией его конструкции и технологии изготовления, методов и средств доводки его систем и агрегатов, включая систему управления и обеспечиваемое ею качество управления двигателем.

Практически комплексную задачу оптимизации качества управления двигателем можно разделить на три отдельные задачи:

- оптимизация систем на этапах проектирования, изготовления, модерни-

зации и ремонта двигателя, осуществляемая его разработчиками и изготовителями;

- оптимизация управления двигателем, выполняемая автоматически программируемым микроконтроллером в процессах стендовой отладки и эксплуатации двигателя;

- оптимизация собственно управляющего устройства МПСУ – микроконтроллера, выполняемая как на стадии проектирования и программирования разработчиками, так и в эксплуатации автоматически самой системой управления.

Даже при оптимизации управления двигателем в эксплуатации с ограниченным перечнем управляющих воздействий трудно выбрать единый обобщенный критерий оптимальности управления. Частные задачи оптимизации управления двигателем решаются разными программами, реализуемыми в микроконтроллере [2].

В наиболее общем случае в качестве критерия оптимальности используется расход топлива при ограничениях на управляющие воздействия по техническим и экологическим параметрам. Это обусловлено возможностью использования управляющего воздействия системы автоматического регулирования частоты вращения в качестве сигнала, выражающего текущее значение расхода топлива двигателем. Выходной сигнал (управляющее воздействие) регулятора частоты вращения – это его реакция на любые возмущения, поступающие в систему регулирования частоты вращения коленчатого вала двигателя. Этот сигнал определяет цикловую подачу топлива. В микропроцессорных регуляторах частоты вращения он представляется числом (кодом), удобным для контроля и обработки в микропроцессоре.

При управлении системами двигателя и агрегатами автомобиля с помощью электронных систем происходят следующие процессы [4]:

- управление эффективной мощностью двигателя за счет управления его рабочим процессом;
- контроль величины эффективной мощности двигателя посредством анализа информации о частоте вращения коленчатого вала двигателя, его температурном и нагрузочном режиме (абсолютное давление во всасывающем трубопроводе или массовый расход топлива), составе смеси, режимах работы в зависимости от условий движения;
- управление с помощью обратных связей уровнем детонации и поддержанием стехиометрического состава смеси (с помощью датчиков детонации и λ -зондов) в бензиновых и газовых ДВС;
- формирование сигналов, управляющих зажиганием, опережением впрыска дизельного топлива, цикловой подачей топлива, количеством отработавших газов для рециркуляции, подачей топлива к дозирующей системе бензиновых и дизельных ДВС;
- анализ работы датчиков и исполнительных механизмов с целью их диагностики;
- преобразование команд управле-

ния оператора (водителя) в параметры изменения мощности двигателя, изменения траектории движения автомобиля и др.;

- управление скоростью движения автомобиля.

Для двигателей внутреннего сгорания характерны периодическая повторяемость рабочих циклов и неустановившиеся режимы работы. Как объект управления они могут считаться нелинейными, так как реакция на сумму внешних воздействий не равна сумме реакций на каждое из воздействий в отдельности. Ввиду того что ДВС и МПСУ работают на нестационарных режимах, возникает проблема оптимального управления ДВС.

Из-за сложности конструкции ДВС и систем автомобиля, наличия допусков на их размеры по конструктивным параметрам (степень сжатия, геометрические параметры впускного и выпускного трактов и др.) отличаются и необходимые законы управления ими, что проявляется в использовании разнообразных датчиков.

Двигатель внутреннего сгорания представляет собой многомерный объект управления, так как число входных параметров у него больше единицы и каждый входной параметр воздействует на несколько выходных управляющих воздействий. В таком случае система управления ДВС является многомерной.

Поскольку конструкции и технологии производства ДВС и систем автомобиля носят установившийся характер, при поисках алгоритмов и законов управления рабочим процессом конкретного типа двигателя внутреннего сгорания и агрегатов автомобиля необходимо:

- определить структуру системы с информационными, функциональными, логическими и алгоритмическими связями;
- рассматривать агрегаты автомобиля как практически неизменяемые части системы;
- рассматривать системы управления не как статические, а как динамические математические модели управления с обратными связями;
- определить связи потоков информации от датчиков двигателя как единую систему обмена данными с другими элек-

тронными системами автомобиля (например, использование информации от датчика скорости движения автомобиля как единой информации для всех управляющих и информационных систем).

На рис. 3 представлен один из вариантов математической модели бензинового ДВС с микропроцессорной системой управления зажиганием и топливоподачей с нейтрализацией отработавших газов трехкомпонентным нейтрализатором.

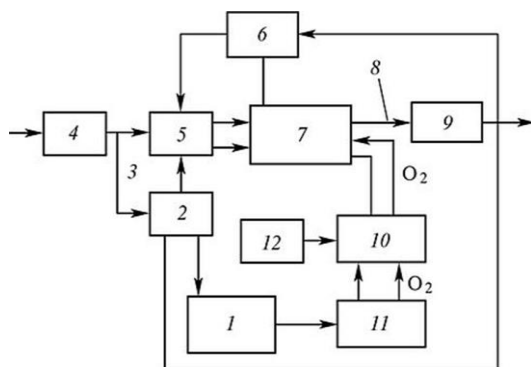


Рис. 3. Математическая модель двигателя внутреннего сгорания как объекта регулирования по минимуму расхода топлива и по ограничениям токсичности отработавших газов: 1 – контроллер управления ДВС; 2 – блок впрыскивания топлива; 3 – сигнал датчика давления на всасывании P_k (нагрузка ДВС); 4 – дроссельная заслонка во всасывающем патрубке ДВС; 5 – цикловая подача топлива (расход топлива) и воздуха (расход воздуха); 6 – система зажигания; 7 – параметры индикаторного и рабочего процесса ДВС (параметры математической модели ДВС); O_2 – концентрация кислорода; 9 – параметры нагрузки ДВС; 10 – выпускной тракт двигателя; 11 – датчик кислорода в отработавших газах; 12 – нейтрализатор отработавших газов

Алгоритм калибровки управления такой микропроцессорной системы по математической модели двигателя имеет следующие шаги [5].

1. Выбор исходной комплектации двигателя (в данном случае это система зажигания, система впрыскивания топлива, датчики и исполнительные механизмы).

2. Определение модели двигателя с проверкой ее адекватности путем экспериментального определения ее параметров. Эти процедуры выполняют на автоматизированных испытательных стендах по ездовым циклам (ЕЦ).

3. Расчет режимов работы ДВС при выполнении ЕЦ с определением опорных точек матрицы управления, которые должны быть заложены в ППЗУ контроллера блока управления. Основными параметрами являются углы опережения зажигания, цикловая подача топлива в зависимости от циклового расхода всасываемого воздуха или положения дроссельной заслонки, температуры охлаждающей жидкости, масла, всасываемого воздуха и т.д.

4. Формирование поверхности управления для зоны ездовых циклов.

5. Расчетная оценка достигнутого уровня показателей. В случае эффективности управления проводится оптимизация управления, а в случае отсутствия эффективности расчет возобновляется с предыдущих этапов.

6. Расчетное определение оптимального управления без ограничений по токсичности отработавших газов вне зоны ЕЦ с целью получения поверхности регулировок с минимумом расхода топлива и оптимальной динамикой двигателя.

7. Формирование базовой матрицы управления зажиганием и впрыскиванием топлива.

Полученные значения опорных точек управления закладывают в постоянную программируемую память (ППЗУ) микроконтроллера МПСУ с учетом технологических допусков на детонационную стойкость топлива и интенсивность городской езды.

Особое значение при разработке программного обеспечения контроллера МПСУ имеют статическая и динамическая погрешности датчиков, а также исполнительных устройств.

С появлением встроенной в микроконтроллер управления системы самодиагностики датчиков, исполнительных устройств и программы регулирования алгоритмы управления комплексных систем автомобилей еще более усложнились. Применение линии связи CAN всех систем управления автомобиля позволило использовать информацию датчиков других систем автоматики и тем самым связать линиями обмена информацией все системы электроники для обеспечения, в частности,

управляемости автомобилей при сложных дорожных условиях. Особое значение приобрел обмен информацией по линиям связи CAN с появлением на транспортных средствах комбинированных силовых установок, которые позволили сократить расход топлива и снизить токсичность отработавших газов в условиях интенсивного городского движения.

Двигатель внутреннего сгорания как объект автоматического управления по входным параметрам вырабатывает управляемые характеристики (мощностные, экологические и динамические). Остальные агрегаты автомобиля выполняют функции обеспечения безопасности движения и комфортных условий для водителя и пассажиров.

Входные параметры, измеряемые датчиками электронных систем управления (частота вращения коленчатого вала двигателя, угол открытия дроссельной заслонки, угол опережения зажигания, цикловой расход топлива, расход воздуха и др.), влияют на протекание рабочего процесса двигателя. Значения входных параметров определяются внешними воздействиями на двигатель со стороны водителя или системы автоматического управления, поэтому они называются управляющими.

Кроме входных управляющих параметров на двигатель во время его работы воздействуют случайные возмущения, которые мешают управлению. К случайным возмущениям можно отнести изменение параметров состояния внешней среды (температура окружающей среды, атмосферное давление, влажность окружающего воздуха), свойства топлива и масла, состояние дорожного покрытия и т.д.

Частота вращения коленчатого вала двигателя может быть определена путем измерения интервала между соседними импульсами на выходе датчика положения коленчатого вала.

Интервал между импульсами измеряется в секундах, одному обороту двигателя соответствуют два импульса от датчика положения коленчатого вала (для 4-цилиндрового двигателя), поэтому

$$n = \frac{60}{2T} = \frac{30}{T} \text{ мин}^{-1},$$

где T – интервал между соседними импульсами на выходе датчика положения коленчатого вала.

Для определения количества воздуха могут использоваться методы непосредственного или косвенного определения массы воздуха. При измерении массы воздуха непосредственным методом измеряется количество воздуха, поступающего в двигатель. Используются два различных метода, определяемые конструкцией применяемых датчиков:

- измеряется масса воздуха;
- измеряется объем, плотность и температура воздуха, а затем вычисляется его масса.

При использовании косвенного метода количество поступающего в двигатель воздуха не измеряется, рассчитывается по измерению значения параметра, от которого зависит. Масса воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, определяется выражением

$$A = \frac{nV\mu P}{RT},$$

где A – масса воздуха; n – частота вращения двигателя; V – объем цилиндра двигателя; μ – коэффициент использования объема двигателя; P – давление (разрежение) во впускном коллекторе; R – газовая постоянная; T – температура во впускном коллекторе.

Из приведенного выражения следует, что количество воздуха, поступающее в цилиндр за один цикл, зависит от двух переменных величин: разрежения во впускном коллекторе и температуры воздуха. На этом и основан метод косвенного измерения количества воздуха.

Существует большое число разновидностей датчиков расхода воздуха, однако в основном используются датчики, измеряющие объем воздуха (на основе вихрей Кармана) или массу воздуха (на основе терморезисторов). Датчики на основе вихрей Кармана на выходе имеют импульсный сигнал, частота которого пропорциональна объему проходящего воздуха в единицу времени (измеряется в л/с).

Количество воздуха при этом определяется по зависимости

$$g \sim A/n_e,$$

где g – количество впрыскиваемого топлива; A – количество воздуха; n_e – частота вращения коленчатого вала двигателя.

Масса воздуха в этом случае рассчитывается электронным блоком управления двигателем с использованием данных расходомера, температуры воздуха и барометрического давления. Датчики на основе терморезисторов на выходе имеют аналоговый сигнал, изменяющийся пропорционально массе проходящего воздуха (измеряется в г/с).

Системы косвенного измерения в качестве параметра для определения расхода воздуха используют величину абсолютного давления во впускном коллекторе за дроссельной заслонкой. При этом количество впрыскиваемого топлива определяется выражением

$$g \sim P/n_e,$$

где g – количество впрыскиваемого топлива; P – давление (разрежение) за дроссельной заслонкой; n_e – частота вращения вала двигателя.

При использовании этого метода необходимо учитывать запаздывание изменения разрежения по отношению к изменению массы. Такой метод измерения получается более дешёвым, но менее точным.

Требования к двигателю меняются в зависимости от режима работы двигателя, соответственно должны изменяться и программы управления.

Работу МПСУ нельзя обеспечить, если не определить режим, на котором в данный момент времени работает двигатель. На основании этого выбирается алгоритм, по которому в данный момент должно осуществляться управление.

Режим работы двигателя определяется с помощью программы - диспетчера режимов на основании информации, поступающей в микроконтроллер, в первую очередь от датчиков.

Алгоритм работы этой программы, распознающей режим работы двигателя, в упрощенном виде показан на рис. 4 (применительно к бензиновому двигателю) [1].

После включения зажигания переход на программу управления пуском осу-

ществляется или в случае включения стартера, или в случае трогания автомобиля с места при движении под уклон, если коленчатый вал двигателя начинает вращаться. После включения стартера дальнейший выбор программы горячего или холодного пуска зависит от показаний датчика температуры жидкости в системе охлаждения. При $t_{охл} < t_1$ (рис. 4) включается алгоритм холодного пуска, при $t_{охл} > t_1$ – алгоритм горячего пуска.

Переход от пуска двигателя к рабочим режимам происходит в том случае, если частота вращения двигателя превышает заданную ($n_{дв} > n_0$). Сразу после выхода из режима пуска производится проверка того, работает ли двигатель на режиме холостого хода или принудительного холостого хода. В обоих случаях дроссельная заслонка полностью закрыта; если $n_{дв} > n_1$ (рис. 4), то включается алгоритм принудительного холостого хода, а если $n_{дв} < n_1$ – алгоритм режима холостого хода.

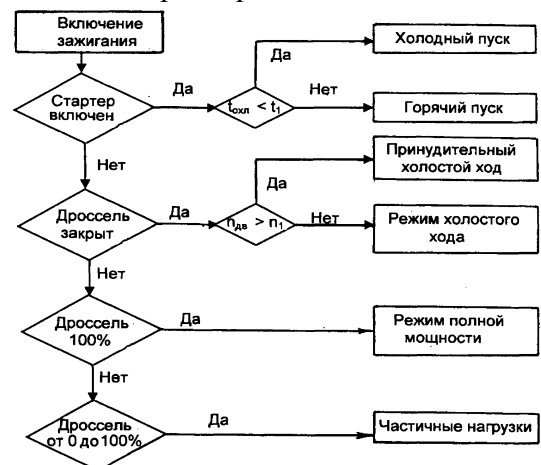


Рис. 4. Алгоритм идентификации режима работы бензинового двигателя: $t_{охл}$ – температура жидкости в системе охлаждения; $n_{дв}$ – частота вращения двигателя; t_1 – значение температуры жидкости в системе охлаждения, разграничивающее условия холодного и горячего пуска; n_1 – предельная частота вращения холостого хода

Промежуточное положение дроссельной заслонки между полным открытием и полным закрытием характеризует работу двигателя на режимах частичных нагрузок, а полное открытие дроссельной заслонки – на режиме максимальной нагрузки.

Программа - диспетчер режимов может быть общей для всех управляющих

воздействий или встраиваться непосредственно в контуры управления отдельными управляющими воздействиями. Она также может быть дополнена специальными критериями для идентификации определенных режимов. В программу - диспетчер могут быть включены функции определения области режимов, где должна работать система рециркуляции отработавших газов, области режимов, в которой осуществляется замкнутое регулирование подачи топлива по сигналам датчика содержания кислорода в отработавших газах, и др. Однако эти задачи могут быть решены и введением необходимых требований непосредственно в программы управления определенными воздействиями.

За исключением режима запуска двигателя время (длительность) впрыскивания топлива (T) определяется с учетом следующих факторов:

- базовой длительности впрыскивания (T_1), которая изменяется с изменением количества воздуха;
- значения корректирующего коэффициента (K_c) базовой длительности впрыскивания;
- задержки срабатывания форсунки (T_2).

$$T = T_1 \cdot K_c + T_2.$$

В режиме запуска длительность впрыскивания топлива (T) определяется с учетом следующих факторов:

- базовой длительности впрыскивания (T_1), которая рассчитывается с учетом температуры охлаждающей жидкости;
- значения корректирующего коэффициента (K_i), зависящего от температуры всасываемого воздуха;
- продолжительности срабатывания форсунки (T_2)

$$T = T_1 \cdot K_i + T_2.$$

Количество воздуха, поступающего в цилиндр двигателя за один цикл, рассчитывается электронным блоком управления двигателем на основании сигналов, поступающих от датчика расхода воздуха и датчика положения коленчатого вала двигателя.

Момент искрообразования блок управления бензиновым и газовым двига-

телем рассчитывает по сигналу от датчика положения коленчатого вала и, закрывая силовой транзистор, прерывает ток в первичной обмотке катушки зажигания, что приводит к появлению импульса высокого напряжения на свече зажигания. Искрообразование в этой системе производится только в одном цилиндре. Поэтому для определения того цилиндра, в котором в данный момент требуется воспламенение смеси, используется сигнал как от датчика положения коленчатого вала, так и от датчика положения распределительного вала (датчика ВМТ).

Вращающийся диск датчика положения коленчатого вала имеет зубья, расположенные через 10° пкв, однако три из них пропущены (два зуба и один зуб, расположенный через 180°). Сигнал на выходе датчика положения коленчатого вала представляет собой последовательность импульсов через каждые 10° пкв с тремя пропусками. Пропущенные импульсы позволяют определить ВМТ коленчатого вала. Когда блок управления двигателем обнаруживает один пропущенный импульс, то он определяет ВМТ 1 или 4 цилиндра, а когда два пропущенных импульса, то ВМТ 2 или 3 цилиндра.

Датчик положения распределительного вала имеет 6 зубьев.

Если блок управления двигателем обнаруживает одинарный импульс от датчика распределительного вала и один пропущенный импульс от датчика коленчатого вала, то он определяет такт сжатия в первом цилиндре, а если одинарный импульс от датчика распределительного вала и два пропущенных импульса от датчика коленчатого вала, то такт сжатия во втором цилиндре. Соответственно если блок управления двигателем обнаруживает двойной импульс от датчика распределительного вала и один пропущенный импульс от датчика коленчатого вала, то он определяет такт сжатия в четвертом цилиндре, а если одинарный импульс от датчика распределительного вала и два пропущенных импульса от датчика коленчатого вала, то такт сжатия в третьем цилиндре.

Блок управления двигателем закрывает силовые транзисторы, обеспечивая

воспламенение смеси в цилиндрах в соответствии с рассчитанным им порядком работы цилиндров, на основании сигналов от датчиков положения коленчатого и распределительного валов. При расчете момента закрытия транзистора нужно учитывать, что с изменением частоты вращения коленчатого вала двигателя время, за которое он поворачивается на 1° пкв, также изменяется (если обороты увеличиваются, то время уменьшается, и наоборот). Поэтому вначале рассчитывается время (t), необходимое для поворота коленчатого вала на 1° пкв. Оно легко определяется из времени цикла (T), которое уже известно:

$$t = T/180.$$

После определения времени t имеются все необходимые данные для расчета момента закрытия силового транзистора (момент подачи искры). За начало отсчета берется угол 75° пкв до ВМТ.

$$T_1 = t(75 - \vartheta),$$

где ϑ – угол опережения зажигания, рассчитанный электронным блоком управления двигателем.

Двигатель, оснащенный МПСУ, обеспечивает существенное улучшение экономических и экологических характеристик, увеличение мощности двигателя и эксплуатационной надежности. Электронное управление обеспечивает устойчивость переходных процессов в двигателе и меньшую жесткость его рабочего процесса, а следовательно, уменьшение шума и вибрации.

Потребителям двигателей применение МПСУ обеспечило широкий спектр дополнительных возможностей:

- расширение номенклатуры вариантов двигателей с более узкой специализацией по назначению и условиям применения при изменении только программного обеспечения микроконтроллера;
- совершенствование автоматической аварийной защиты и диагностирования двигателя и связанных с ним агрегатов;
- улучшение пусковых и нагрузочных характеристик.

Наличие МПСУ повысило качество эксплуатации двигателей, создав возможность введения централизованного контроля и управления эксплуатацией, при одновременном ее упрощении. Это явилось следствием исключения ручных регулировок и настроек агрегатов двигателя, оперативного контроля и наличия автоматической коррекции настроек, систематического совершенствования алгоритмов управления на основе анализа информации о результатах эксплуатации как конкретного двигателя, так и всех однотипных двигателей. Кроме того, МПСУ привела к уменьшению затрат на ремонтное обслуживание и его упрощению (например, за счет исключения механических и гидромеханических регуляторов частоты вращения, необходимости ручных регулировок топливной аппаратуры на специальных стендах) [1].

Улучшение схемы и конструкции двигателя при наличии МПСУ и в особенности исключение некоторых его узлов и агрегатов значительно расширяют возможности свободного размещения остальных агрегатов на двигателе, тем самым упрощая как проектирование, так и изготовление новых двигателей с МПСУ.

Определение величины подачи топлива и выбор необходимых фаз осуществляются электромеханическими форсунками по информации, выдаваемой микроконтроллером. Характерно также сокращение сроков и улучшение качества изготовления двигателей с МПСУ в результате упрощения конструкции двигателя и повышения степени автоматизации процессов отладки и сдачи двигателей после изготовления.

Электронным управлением оснащаются системы: топливоподачи, газообмена, наддува, зажигания, изменения степени сжатия, рециркуляции отработавших газов, охлаждения, смазки и др. Чем больше число электронных систем, примененных в двигателе, тем больше возможности оптимизации управления двигателем. Для каждой конкретной модификации двигателя и условий его эксплуатации может быть выбран перечень электронных систем, являющийся оптимальным по соотношению

достигаемого экологического и экономического эффекта и стоимости.

Классификация систем управления по признакам обработки информации разделяет их на четыре основные группы.

Системы с программным управлением. В эту группу входят автоматические системы управления двигателем без обратной связи и все остальные системы управления двигателем с промежуточными звеньями и обратной связью.

Системы с программно-адаптивным управлением. Применение указанных систем явилось следствием необходимости уменьшения токсичности отработавших газов с помощью нейтрализаторов, которые эффективны только при стехиометрическом составе горючей смеси. Обеспечить в условиях эксплуатации стехиометрический состав горючей смеси оказалось возможным только при введении обратной связи с помощью датчика кислорода, установленного в выпускном трубопроводе. Другим стимулом для применения программно-адаптивных систем явилось стремление предохранить бензиновый двигатель от разрушительного воздействия

детонации. Программно-адаптивные системы получают с каждым годом все большее распространение. Они применяются в двигателях с наддувом в комплексе с другими устройствами регулирования газообмена.

Системы с адаптивным управлением. Такие системы являются наиболее высоким уровнем автоматизации управления циклами двигателя.

Системы с интеллектуальным управлением. Это группа систем ближайшего будущего, которые уже начинают появляться и, вероятно, займут ведущее место в системах управления ДВС и агрегатах с их применением.

Таким образом, для эффективного управления как рабочим процессом, так и двигателем в целом необходимо получать и обрабатывать информацию о различных физически разнородных процессах, протекающих в системах и агрегатах двигателя. Вся необходимая информация поступает от измерительных устройств, которые включают датчики и схемы обработки первичных сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борщенко, Я.А. Электронные и микропроцессорные системы автомобилей: учеб. пособие / Я.А. Борщенко, В.И. Васильев. – Курган: Изд-во Курган. гос. ун-та, 2007. – 207 с.
2. Дмитриевский, Е.В. Электронное управление двигателями внутреннего сгорания: учеб. пособие / Е.В. Дмитриевский, А.А. Обозов, М.А. Новиков. – Брянск: БГТУ, 2018. – 195 с.
3. Пинский, Ф.И. Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внут-

ренного сгорания / Ф.И. Пинский, Р.И. Давтян, Б.Я. Черняк. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 136 с.

4. Рогалев, В.В. Управляемый рабочий процесс в двигателях внутреннего сгорания: учеб. пособие / В.В. Рогалев. – Брянск: БГТУ, 2004. – 148 с.
5. Системы управления бензиновыми двигателями: [пер. с нем.]. – М.: За рулем, 2005. – 432 с.

1. Borshchenko, Ya.A. *Electronic and Micro-Processor Systems of Motor Cars: manual* / Ya.A. Borshchenko, V.I. Vasiliev. – Kurgan: Publishing House of Kurgan State University, 2007. – pp. 207.
2. Dmitrievsky, E.V. *Electronic Control of Internal Combustion Engines: manual* / E.V. Dmitrievsky, A.A. Obozov, M.A. Novikov. – Bryansk: BSTU, 2018. – pp. 195.

3. Pinsky, F.I. *Micro-Processor Systems for Internal Combustion Engines Control* / F.I. Pinsky, R.I. Davtyan, B.Ya. Chernyak. – M.: Legion-Autodata, 2004. – pp. 136.
4. Rogalyov, V.V. *Controlled Working Process in Internal Combustion Engines: manual* / R.R. Rogalyov. – Bryansk: BSTU, 2004. – pp. 148.
5. *Systems of gasoline engines control: [transl. from German]*. – M.: *Behind the Wheel*, 2005. – pp. 432.

Статья поступила в редакцию 4.11.18.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета

Анисин А.А.

Статья принята к публикации 25.01.19.

Сведения об авторах:

Дмитриевский Евгений Владимирович, к.т.н., доцент кафедры «Тепловые двигатели» Брянского государственного технического университета, e-mail: Dmitr-bstu@yandex.ru.

Новиков Руслан Асланович, аспирант Брянского государственного технического университета, e-mail: ranowikow@gmail.com.

Dmitrievsky Evgeny Vladimirovich, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Heat-Engines", Bryansk State Technical University, e-mail: Dmitr-bstu@yandex.ru.

Novikov Ruslan Aslanovich, Post graduate student, Bryansk State Technical University, e-mail: ranowikow@gmail.com.

Обозов Александр Алексеевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Тепловые двигатели» Брянского государственного технического университета, e-mail: obozov51@mail.ru.

Obozov Elexander Alexeevich, Dr. Sc. Tech., Assistant Prof., Prof. of the Dep. "Heat-Engines", Bryansk State Technical University, e-mail: obozov51@mail.ru.