

ОДНОВРЕМЕННАЯ ПОДАЧА ГАЗОВОГО И ЖИДКОГО ТОПЛИВ В ДВС С ИСКРОВОМ ЗАЖИГАНИЕМ

© 2011 В.А. Шишков

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 18.02.2010

На основании исследований, проведённых автором, показаны возможности систем и предложен алгоритм управления при одновременной подаче газового и жидкого топлив в ДВС с искровым зажиганием. Приведены их достоинства и недостатки, а также условия применимости в зависимости от режима работы ДВС, конструктивной схемы подачи и характеристик элементов топливной системы. Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, электронная система управления двигателем, газовое топливо, одновременная подача топлив.

Под одновременной подачей бензина и газа в ДВС понимается то, что оба вида топлив впрыскиваются или во впускной трубопровод или непосредственно в камеру сгорания цилиндра, в котором ожидается рабочий процесс. Одновременная подача бензина и газа может быть синхронизирована по времени и углу положения коленчатого вала или иметь постоянное или переменное фазовое смещение в зависимости от параметров рабочего процесса, нагрузки и внешних условий.

Необходимо учитывать, что при замене существенной части жидкого топлива на газовое снижается мощность ДВС из-за снижения наполнения цилиндров свежим воздухом, т.к. часть объёма занимает газовое топливо. Это снижение, если не установлен какой-либо наддув, составляет замещающую долю от уровня объёмного коэффициента стехиометрии данного газового топлива. Например, для метана и воздуха коэффициент объёмной стехиометрии составляет $L=9,53$ объёма воздуха к одному объёму метана. В таком случае, умножая эту величину на массовую долю m газа, замещающего бензин, выраженную в долях от 1, получим минимальное снижение эффективной мощности N_e и крутящего момента M_e ДВС:

$$N_{e \text{ газ+бензи}} = N_{e \text{ бензин}} (1 - m L/100); \quad (1)$$

$$M_{e \text{ газ+бензи}} = M_{e \text{ бензин}} (1 - m L/100). \quad (2)$$

Эти соотношения в первом приближении применимы к сжатому природному газу (КПГ), сжиженному нефтяному газу (СНГ) (пропан-бутан), светильному газу (СВ), но не применимы к газообразному водороду при его малых добавках к бензину. Водород, имея малые

размеры молекул по сравнению с молекулами веществ, находящихся в воздухе, при малых его количествах замещающего жидкого топлива практически не оказывает влияние на ухудшение наполнения цилиндров воздухом. Это влияние становится существенным для водорода только при большом (более 3...5%) процентном замещении жидкого топлива.

Для более точного определения влияния замещения жидкого топлива газообразным необходимо ввести поправочный коэффициент на изменение температуры и давления в камере сгорания в процессе горения. При одинаковом составе топливоздушная смесь газовые топлива КПГ, СНГ, СВ горят при более низких температурах, чем пары бензина, а водород при более высокой температуре. Соответственно эффективное давление в камере сгорания будет зависеть от количества образовавшихся молей газов в продуктах сгорания. Их количество различно для каждого вида применяемого топлива. Поэтому выражения 1 и 2 можно представить в следующем виде:

$$N_{e \text{ газ+бензи}} = N_{e \text{ бензин}} (1 - m L/100) A(m; T_g; P_g); \quad (3)$$

$$M_{e \text{ газ+бензи}} = M_{e \text{ бензин}} (1 - m L/100) A(m; T_g; P_g), \quad (4)$$

где $A(m; T_g; P_g)$ – функция влияния состава топлива на рабочий процесс.

Цели, которые необходимо достигнуть при одновременной подаче 2-х видов топлив в ДВС с искровым зажиганием:

- снижение токсичности отработавших газов при стехиометрическом составе топливоздушной смеси (при $\alpha = 1$) или при работе на обеднённых смесях (при $\alpha = 2...2,5$);
- снижение стоимости километра пробега, т.е. повышение экономичности автомобиля;
- обеспечение требуемой мощности и крутящего момента двигателя при частичных и полной нагрузках;

Шишков Владимир Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, начальник технического отдела ООО «Рекар».
E-mail: Vladimir-Shishkov@yandex.ru

- устойчивая работа двигателя на режиме холостого хода;
- обеспечение требуемой динамики разгона;
- обеспечение бездетонационной работы двигателя;

- обеспечение пуска двигателя в диапазоне температур от -30°C до $+45^{\circ}\text{C}$ и его прогрева до рабочей температуры.

В зависимости от поставленной цели можно выбрать вид газового топлива. Для снижения токсичности наиболее целесообразно применение водорода или метана. Водород наиболее активен и поэтому важен для начала воспламенения топливовоздушной смеси, т.к. реакция окисления водорода кислородом протекает по цепной реакции с разветвлёнными цепями с увеличением скорости горения в геометрической прогрессии с коэффициентом равным 3. Т.е. каждая отдельная цепочка в реакции окисления создаёт 3 свободных положительно заряженных радикала водорода, которые активно вступают в реакцию. Поэтому использование в качестве газового топлива водорода увеличивает полноту сгорания углеводородного топлива. В этом случае достаточно впрыскивать малую дозу водорода от 0,1 до 3...5% от общего необходимого расхода топлива. Если необходимо снизить выбросы углеводородов CH_x , окислов углерода CO и двуокиси углерода CO_2 в отработавших газах на максимальную величину, то можно увеличить долю впрыскиваемого водорода от 5 до 100% требуемого для двигателя количества топлива. Но в этом случае необходимо учитывать, что в камере сгорания возрастёт температура горения, что в свою очередь увеличит выбросы окислов азота NO_x . В данном случае при работе на водороде необходимо выбрать обеднение топливовоздушной смеси на таком уровне, при котором температура горения снизится за счёт разбавления дополнительным воздухом.

Одновременное использование двух видов топлив в ДВС для снижения токсичности отработавших газов потребует конструкторской доработки отдельных его элементов и систем, например, потребуются специальные:

- нейтрализатор отработавших газов, т.к. окислительные процессы газовых топлив в нём протекают более вяло, чем углеводородов, оставшихся после горения бензина, т.е. потребуется или увеличение содержания редкоземельных металлов в нейтрализаторе или увеличение его габаритно-весовых характеристик;

- датчик кислорода отработавших газов и алгоритм обработки его сигнала, т.к. например, средняя линия сигнала в рабочем окне датчика для бензина находится около состава топливовоздушной смеси $\alpha = 0,998$, а для метана около

0,985. При одновременной подаче двух видов топлив датчик кислорода не сможет определить, какая доля его сигнала приходится на отработавшие газы бензина или газа, поэтому в данном случае необходимо доработать алгоритм обработки сигнала с датчика кислорода в плане его коррекции в зависимости от массовых долей впрыснутых в ДВС бензина и газа;

- система впуска воздуха в ДВС в плане оптимизации места установки и направления впрыска электромагнитных газовых форсунок для эффективного наполнения цилиндров топливовоздушной смесью;

- алгоритм управления ДВС и топливоподачей с соответствующим изменением программного обеспечения в электронном блоке управления и изменением его электрической схемы с увеличением числа входных и выходных каналов или установкой дополнительного электронного блока управления, но в этом случае усложняется программное обеспечение в плане его связи с бензиновым блоком управления т.д.

Метан имеет в своей формуле один атом углерода и поэтому снижение выбросов CO , CH и CO_2 составит до 28% в зависимости от доли замещения жидкого топлива газовым топливом. При полном замещении жидкого топлива метаном получим максимальное снижение токсичности отработавших газов и минимальную стоимость километра пробега.

Использование пропан-бутана незначительно снижает токсичность отработавших газов по сравнению с бензином, т.к. у них практически близкие соотношения атомов водорода к углероду. Если $b > 1$, то температура горения будет выше, чем при работе на бензине и произойдёт увеличение выбросов оксидов азота. Для снижения стоимости километра пробега наиболее целесообразно применение метана или пропан-бутана, но выигрыш последнего по сравнению с метаном незначителен из-за большой разницы их стоимости.

Работа двигателя на обеднённых смесях (при $\alpha = 2...2,5$) обеспечивает как минимальную токсичность отработавших газов, так и высокую экономичность, но реализовать её проблематично, т.к. большинство существующих двигателей имеют высокие механические потери. В этом случае практически требуется разработка нового двигателя.

При работе на газовом топливе, как было отмечено выше, происходит снижение мощности и крутящего момента двигателя. Поэтому для обеспечения тяговых характеристик автомобиля можно на высоких частичных режимах и на максимальной нагрузке кратковременно автоматически по команде с электронного блока управ-

ления переключаться на бензин или увеличивать долю бензина, а на стационарных менее нагруженных режимах снова возвращаться на работу на газовом топливе или увеличивать долю газа. Это автоматическое переключение можно выполнять по таблице коэффициента k , записанного в электронном блоке управления ДВС, в зависимости от доли m газового топлива в определенной зоне нагрузок (расхода воздуха через двигатель) и оборотов коленчатого вала, т.е.:

$$k = f(m; G_{\text{возд}}; n), \quad (5)$$

где $G_{\text{возд}}$ – массовый расход воздуха через ДВС;
 n – обороты коленчатого вала.

Зависимость (5) можно представить в виде формулы переключения (6) и формулы изменения долей бензина и газа (7), например:

$$k = (G_{\text{возд}} / G_{\text{возд.макс}}) (n / n_{\text{макс}}), \quad (6)$$

где $G_{\text{возд.макс}}$ – максимальное значение массового расхода воздуха через конкретный ДВС;

$n_{\text{макс}}$ – максимальные обороты коленчатого вала конкретного ДВС.

При $k \geq k_{\text{кр}}$ происходит переход на работу на бензине и наоборот при $k < k_{\text{кр}}$ происходит переключение на газ, где $k_{\text{кр}}$ – некоторое значение коэффициента переключения, которое можно определить в процессе испытания конкретного ДВС, диапазон его изменения от 0 до 1.

Изменение доли бензина:

$$(1 - m) = f(G_{\text{возд}}; n). \quad (7)$$

В этом случае двухтопливный автомобиль практически будет иметь тяговые характеристики как у однотопливного бензинового варианта, но потребуется достаточное количество бензина и газа на борту автомобиля.

Цель обеспечения устойчивой работы двигателя на режиме холостого хода зависит от выбора временных и расходных характеристик электромагнитных газовых и бензиновых форсунок. Принципы подбора этих характеристик описаны ниже в следующем разделе данной работы.

Цель обеспечения требуемой динамики разгона автомобиля можно достичь путём изменения соотношения подачи бензина и газа в процессе разгона, применяя логику работы по формулам (5, 6, 7). При нажатии на педаль акселератора можно или полностью переключиться на работу на бензине или увеличить его массовую долю при одновременной подаче газа и бензина. Эта функция легко реализуема в электронной системе управления двигателем. Кроме этого, функцию увеличения массовой доли бензина $(1 - m)$ можно изменять в зависимости от скорости V_0 нажатия на педаль акселератора или её ускорения (V_0/t) , например по (8).

$$(1 - m) = f(V_0; G_{\text{возд}}; n). \quad (8)$$

При плавном нажатии на педаль акселератора соотношение впрыскиваемого бензина и газа

необходимо не изменять или изменять незначительно, а при резком нажатии, когда требуется большая динамика ускорения, увеличивать массовую дозу бензина или полностью переключиться на работу на бензине. Это позволит сохранить динамические показатели автомобиля на высоком уровне. В этом случае также необходимо правильно выбрать расходные характеристики бензиновых и газовых форсунок в плане их совместной работы.

Обеспечение бездетонационной работы двигателя при одновременной подаче газового и бензинового топлив также решается программным путём изменения соотношения впрыскиваемого бензина и газа. Для снижения вероятности возникновения детонации долю впрыскиваемого газа можно увеличивать до максимального значения, т.к. детонационное число как пропан-бутана (примерно 105), так и метана (примерно 120) значительно превышает детонационное число бензинов (от 92 до 98). Соответственно, при увеличении доли впрыскиваемого газа запас по бездетонационной работе двигателя по углу опережения зажигания можно уменьшить, при этом отодвинуть саму границу детонации для получения оптимальных по максимальным значениям эффективную мощность и крутящий момент.

В целях получения максимальных значений эффективной мощности и крутящего момента при одновременной работе на двух видах топлив (бензине и газе) становится целесообразным изменение конструкции двигателя в плане изменения степени сжатия p в зависимости от доли впрыскиваемого газа:

$$p = f(m). \quad (9)$$

Чем больше доля впрыскиваемого газа, тем требуется выше степень сжатия топливовоздушной смеси в цилиндрах.

Обеспечение пуска двигателя в диапазоне температур от -30°C до $+45^\circ\text{C}$ и его прогрева до рабочей температуры также возможно с помощью алгоритма связать с долями жидкого и газового топлив при одновременной их подаче в ДВС. Пуск двигателя на пропан-бутане возможен только на прогретом ДВС, в остальных случаях необходимо выполнить пуск на бензине, прогреть редуктор-испаритель, как минимум до $+20^\circ\text{C}$... $+30^\circ\text{C}$, и затем переключиться на совместную работу на двух видах топлив. Это можно осуществить в автоматическом режиме в зависимости от температуры ДВС. В случаях, когда в качестве впрыскиваемого газа используется водород или метан (компримированный природный газ) пуск двигателя лучше всего осуществлять с максимальной долей этих газов, т.к. они в вышеуказанном диапазоне температур находятся в газообразном состоянии и хорошо смешиваются с воздухом в про-

цессе приготовления топливовоздушной смеси. Далее, после пуска при прогреве в зависимости от режима ДВС, его параметров и параметров окружающей температуры, необходимо изменять соотношение долей жидкого и газового топлив впрыскиваемых одновременно.

В процессе выбора схемы алгоритма одновременной топливоподачи бензина и газа в ДВС необходимо учитывать, что все вышеназванные цели должны быть связаны математически в соответствующем программном обеспечении электронного блока управления для получения оптимальных характеристик двигателя на всех режимах его работы при различных внешних условиях.

Рассмотрим условия необходимые для одновременной подачи газа и бензина.

1. ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ОДНОВРЕМЕННОЙ ПОДАЧИ ГАЗА И БЕНЗИНА

Рассмотрим влияние времени открытия и закрытия клапана бензиновой и газовой электромагнитных форсунок, а также влияния перепада давления газа и бензина на клапанах соответствующих форсунок, на примере впрыска топлива во впускную трубу двигателя.

При одновременной подаче 2-х видов топлив цикловая подача $Q_{ц}$ складывается из 2-х частей $Q_{ц} = Q_{ц\text{ бенз}} + Q_{ц\text{ газ}}$, (10) т.е. часть топлива впрыскивается через бензиновую форсунку, а другая часть через газовую форсунку. Электромагнитные форсунки имеют характеристики в соответствии со стандартом SAE J1832. Для подбора требуемых для двигателя электромагнитных форсунок необходимо правильно выбрать эти характеристики, например, минимальное время открытия и минимальное время закрытия клапана (для бензиновых и газовых мембранных форсунок время открытия обычно составляет от 1 до 1,4 мс, а время закрытия от 0,7 до 0,85 мс; для газовых форсунок с металлическим клапаном время открытия составляет от 2 до 4,5 мс, а время закрытия от 1 до 1,5 мс [1]). Кроме этого, допуск на величину расхода при минимальном времени открытия не определён из-за большого разброса данных (разброс расходной характеристики может составлять $\pm 20\%$ и более). Поэтому принято понятие - линейный диапазон расходной характеристики, характеризующий диапазон скважности, где допуск на расходную характеристику не превышает для бензиновых форсунок $\pm 2\%$, а для газовых форсунок $\pm 5\%$ (для бензиновых форсунок и для газовых мембранных он обычно составляет от 1,7 мс до 9,2 мс при периоде 10 мс, а для газовых с металлическим кла-

паном от 4 мс до 16 мс при периоде 20 мс). Минимальное значение скважности импульса открытия, соответствующего линейному диапазону для электромагнитных форсунок различных конструкций, превышает минимальное время её открытия примерно на 0,2...0,5 мс.

Далее необходимо учитывать тип впрыска топлива для конкретного двигателя, а именно одновременный, попарнопараллельный или фазированный. Первый и второй тип использовались для выполнения норм по токсичности до Евро-2, поэтому рассматривать их не имеет смысла. При фазированном впрыске для норм токсичности Евро-3 и выше время впрыска одного вида топлива при работе на бензине на холостом ходу для различных двигателей составляет от 1,8 до 3,3 мс. Большие величины относятся к двигателям большого литража. В этом случае при попытке впрыснуть второй вид топлива - газ в одинаковом количестве с бензином потребуются уменьшить скважность впрыска как бензина, так и газа в соответствии с их массовыми долями в цикловой подаче. Например, массовые доли газа и бензина равны, в этом случае скважность окажется практически на 30...40% меньше, чем минимальное время открытия бензиновой или газовой форсунок, что неприемлемо, т.к. топливоподача в двигатель или прекратится или будет недостаточна для устойчивой работы ДВС на режиме холостого хода. Для реализации данного варианта потребуются подобрать форсунки с вдвое меньшими расходными характеристиками, чем исходные, которые использовались для впрыска одного вида топлива. Эта задача не всегда выполнима для двигателей с малым литражом цилиндров, т.к. уменьшение диаметра жиклёра (который составляет для различных форсунок от 0,1 до 0,3 мм) бензиновой электромагнитной форсунки приведёт к снижению надёжности её работы из-за повышения вероятности загрязнения отверстий. В данном случае возможен переход от жиклеров 2...6-х дырчатых к жиклёрам 1-о дырчатым. Для газовых форсунок проблема с загрязнением при снижении диаметра жиклёра не стоит, т.к. уменьшение диаметра, например с 2 мм до 1 мм не критично для его загрязнения. Отсюда следует, что для одновременного впрыска газа и бензина необходимо правильно подобрать расходные характеристики электромагнитных форсунок.

Кроме этого, при выборе форсунок необходимо учитывать долю бензина, которую необходимо заменить на газ. Если доля замещения значительна, например более 50%, то становится целесообразным применение таких бензиновых и газовых форсунок, которые могли бы обеспечить работу двигателя с полной нагруз-

кой на одном из этих топлив. Это даёт преимущество в том, что при отсутствии одного из топлив на борту автомобиля его двигатель будет работать на имеющемся топливе. Но в этом случае становится сложным подбор как бензиновых, так и газовых форсунок с точки зрения обеспечения двигателя обоими топливами при работе на холостом ходу из-за уменьшения расхода пропорционально доле замещения одного топлива другим. Для обеспечения топливоподачи двух видов топлив на режиме холостого хода можно изменить перепад давления на клапанах газовых и бензиновых форсунок, т.к. расход топлива прямо пропорционален корню квадратному из перепада давления. Для этого потребуется специально настроенный регулятор давления бензина, имеющий наклонную расходную характеристику в зависимости от разряжения во впускном трубопроводе двигателя с большим углом наклона, чем при обычной подаче бензина в двигатель. А также потребуется газовый редуктор, имеющий расходную характеристику из-за разряжения во впускном трубопроводе двигателя, с большим наклоном, чем редуктор в обычном исполнении.

Логика впрыска бензина и газа по углу положения коленчатого вала различна. Так, обычно бензин впрыскивается на закрытый впускной клапан, т.е. конец впрыска бензина совпадает с моментом начала открытия впускного клапана. Газовое топливо обычно впрыскивается на открытый впускной клапан, т.е. начало впрыска может быть смещено от момента начала открытия впускного клапана до примерно 20...40 гра-

дусов по положению коленчатого вала (величина зависит от конструкции конкретного ДВС, т.е. от величины угла одновременно открытого состояния выпускного и впускного клапанов) до момента полного закрытия впускного клапана. Эта логика хороша тем, что впрыск бензина и газа смещены по фазе вращения коленчатого вала и фактически вторую дозу, а именно газового топлива, можно скорректировать при динамическом изменении режима работы двигателя, т.е. при ускорении или замедлении (рис. 1).

Данная коррекция повысит точность дозирования топлива в динамическом режиме работы. Это похоже на попарно параллельный впрыск, когда вторая порция топлива корректировалась в зависимости от изменения динамической составляющей. Но имеются и отличия, которые заключаются в следующем:

- при попарно параллельном впрыске первая доза бензина впрыскивалась с опережением на 1 оборот коленчатого вала, а при впрыске бензина и газа практически последовательно за бензином впрыскивается газовое топливо;

- впрыскивать газовое топливо во впускную трубу с опережением на 1 оборот коленчатого вала, как при попарно-параллельном впрыске нельзя, т.к. во впускном трубопроводе образуется горючая смесь, которая при неисправности системы зажигания или при негерметичности впускных клапанов может привести к «хлопку» во впускном трубопроводе и его разрушению;

- в отличие от попарно параллельного впрыска меньшее время на корректировку величины скважности газового впрыска, при фазирован-

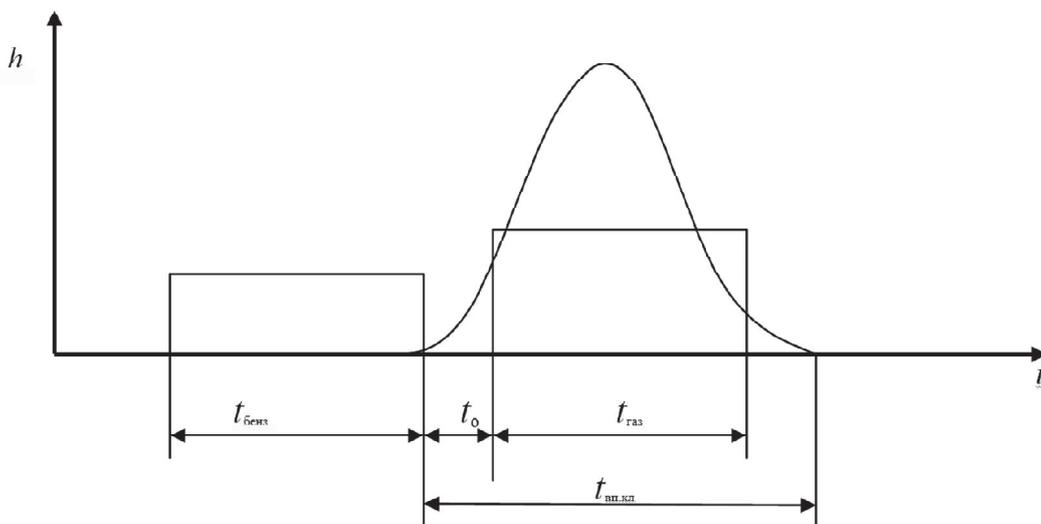


Рис. 1. График фазы впрыска бензина и газа во впускной трубопровод относительно фазы открытия впускного клапана:

h — высота подъема клапанов бензиновой и газовой форсунок и впускного клапана; $t_{\text{бенз}}$ — время впрыска бензина; $t_{\text{газ}}$ — время впрыска газа; $t_{\text{вп.кл.}}$ — время открытого состояния впускного клапана двигателя; t_0 — время одновременного открытого состояния выпускного и впускного клапанов от начала открытия впускного клапана, эквивалентное 0...40 градусам положения коленчатого вала

ном впрыске вслед за дозой бензина, требует применение электронного блока управления ДВС с высокой тактовой частотой.

Для улучшения компоновки двигателя для впрыска бензина и газа можно применить двухтопливные форсунки с одновременной подачей обоих видов топлив. В этом случае требуется разработка новых конструкций двухтопливных форсунок и изменение фазы впрыска по углу положения коленчатого вала в целях безопасной работы двигателя с отсутствием хлопковых эффектов в его системе впуска с выполнением требований по токсичности отработавших газов. Этот вариант менее привлекателен из-за того, что в процессе доводки и работы двигателя практически нельзя изменить ранее выбранное в конструкции двухтопливной форсунки массовое соотношение впрыскиваемых долей обоих видов топлив, если только не сделать конструкцию форсунки с двумя отдельно управляемыми клапанами.

Всё вышеприведённое относится к системам одновременного впрыска топлива во впускную трубу ДВС с искровым зажиганием.

2. ОДНОВРЕМЕННАЯ ПОДАЧА ГАЗА И БЕНЗИНА ПРИ НЕПОСРЕДСТВЕННОМ ИХ ВПРЫСКЕ В КАМЕРУ СГОРАНИЯ ДВС С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

Рассмотрим следующие 3 варианта непосредственного впрыска топлива:

- газ впрыскивается в впускную трубу ДВС с момента начала открытия впускного клапана (или плюс 20...40 градусов по положению коленчатого вала, в зависимости от конкретного одновременно открытого состояния выпускного и впускного клапанов) до момента его закрытия, а начало впрыска бензина непосредственно в камеру сгорания осуществляется в период от момента закрытия впускного клапана в процессе сжатия топливовоздушной смеси;

- бензин впрыскивается в впускную трубу ДВС до момента начала открытия впускного клапана, а начало впрыска газа непосредственно в камеру сгорания осуществляется в период от момента закрытия впускного клапана (или плюс 20...40 градусов по положению коленчатого вала, в зависимости от конкретного одновременно открытого состояния выпускного и впускного клапанов) в процессе сжатия топливовоздушной смеси;

- бензин и газ впрыскивается одновременно в камеру сгорания ДВС в период от момента закрытия впускного клапана (или плюс 20...40 градусов по положению коленчатого вала, в зависимости от конкретного одновременно открытого состояния выпускного и впускного клапанов) в процессе сжатия топливовоздушной смеси.

Первый вариант (рис. 2) приемлем для подачи малой дозы водорода (от 0,01 до 4 % объёмной доли) для улучшения экологических показателей двигателя, т.к. в данном случае не требуется высокого давления газового топлива и не требуется сложной топливной аппаратуры для его впрыска, при этом вероятность воспламенения топливовоздушной смеси во впускном трубопроводе не велика из-за низкого содержания водорода (меньше чем нижний предел воспламенения водорода в смеси с воздухом от 4 до 75%) и его начала впрыска в момент начала открытия впускного клапана. При больших массовых долях при впрыске замещающего газового топлива возникнут недостатки, связанные с ухудшением наполнения цилиндров топливовоздушной смесью с соответствующими потерями эффективной мощности и крутящего момента. Пути решения этих проблем такие же, как и при одновременном впрыске бензина и газа во впускной трубопровод ДВС.

Второй вариант, представленный на рис. 3, имеет свои преимущества и недостатки. Преимущество заключается в том, что в данном варианте не ухудшается степень наполнения цилиндров топливовоздушной смесью при любой массовой доле замещения бензина газом. Впрыск бензина во впускной трубопровод незначительно ухудшает степень наполнения цилиндров, т.к. объёмная доля капелек и паров бензина в смеси не более 0,1...0,5%, а впрыск газа под давлением непосредственно в камеру сгорания происходит под повышенным перепадом давления, при этом он не вытесняет из цилиндра воздух (впускной клапан закрыт) и тем самым не ухудшает степень наполнения цилиндров топливовоздушной смесью. Недостаток данной схемы в том, что требуется высокий перепад давления газа на форсунках, а это означает, что снизится выработка газа из баллона, т.к. остаточное давление в нём должно будет быть достаточным для непосредственного впрыска газа в камеру сгорания. Для снижения влияния данного эффекта необходимо впрыск газа осуществить в начальный период процесса сжатия, когда в камере сгорания давление ещё не велико. В этом случае потребуются газовые форсунки для непосредственного впрыска газа с малым временем впрыска (не более 1...3 мс), т.е. максимальный расход при минимальной ширине импульса впрыска. Это означает, что расходная характеристика такой форсунки будет иметь большой угол наклона в зависимости от ширины импульса впрыска, что в свою очередь может привести к ухудшению точности дозирования газового топлива в зависимости от режима работы ДВС.

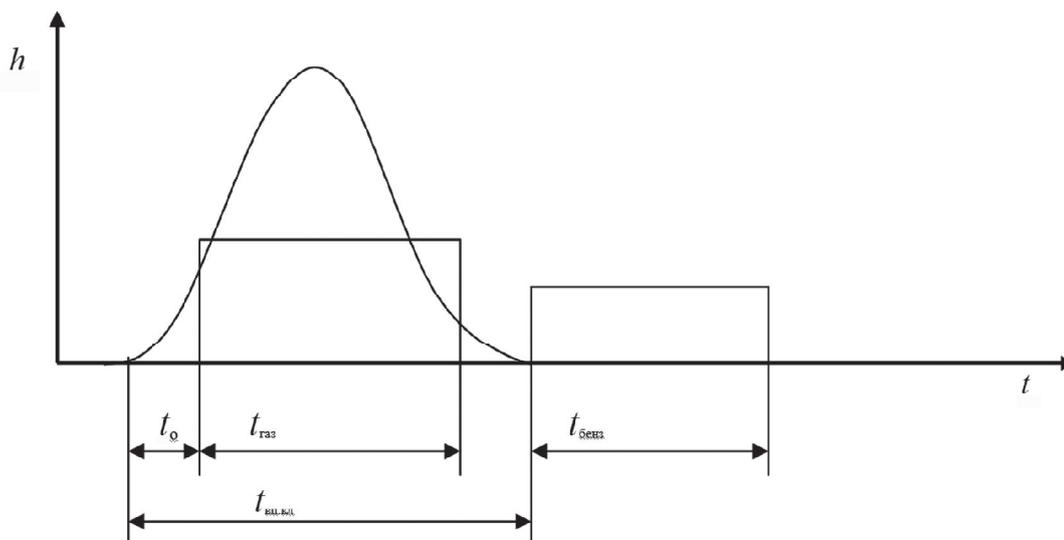


Рис. 2. График фазы впрыска газа во впускной трубопровод и непосредственного впрыска бензина в камеру сгорания относительно фазы открытия впускного клапана

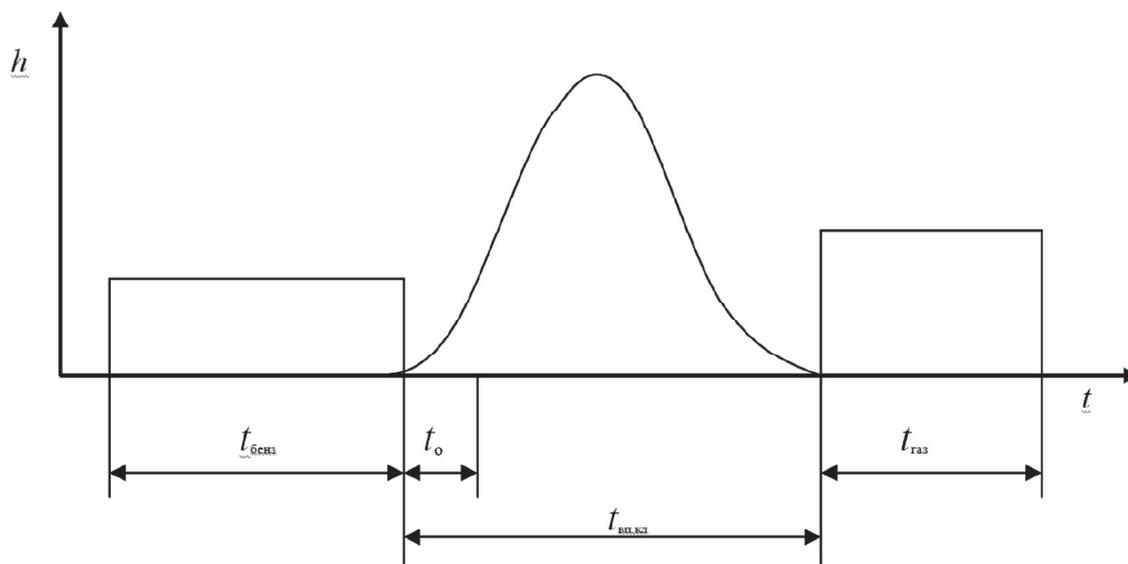


Рис. 3. График фазы впрыска бензина во впускной трубопровод и непосредственного впрыска газа в камеру сгорания относительно фазы открытия впускного клапана

Третий вариант фазы непосредственного одновременного впрыска бензина и газа представлен на рис. 4. Преимущества данного варианта заключаются в том, что улучшается процесс смешения топлив с воздухом и соответственно повышается полнота сгорания, что в свою очередь, приводит к снижению расхода топлива. Недостатком является то, что требуется высокий перепад давления топлив как на бензиновой, так и газовой форсунках, а это усложняет конструкцию всей топливной аппаратуры ДВС. Для непосредственного впрыска бензина лучше применять пьезофорсунки, но для непосредственного впрыска газа их применение проблематично из-за малого хода клапана (10...30 мкм). Этого значения хода клапана для пропускания достаточ-

ной массовой доли газового топлива недостаточно, если эта доля превышает 3...5% от суммарного количества в цикловой подаче. Как для второго, так и третьего вариантов схем для большой (более 3...5%) доли непосредственного впрыска газового топлива требуется разработка специальных форсунок.

Необходимо учитывать то, что при оборотах коленчатого вала 6000 об/мин период одного оборота составляет 10 мс, а время процесса сжатия составляет 5 мс. Т.е. время впрыска бензиновой и газовой форсунок должно быть меньше этого значения и в лучшем случае не превышать 3 мс, при этом они должны обеспечивать максимальную цикловую подачу топлива для обеспечения работы ДВС на полной нагрузке.

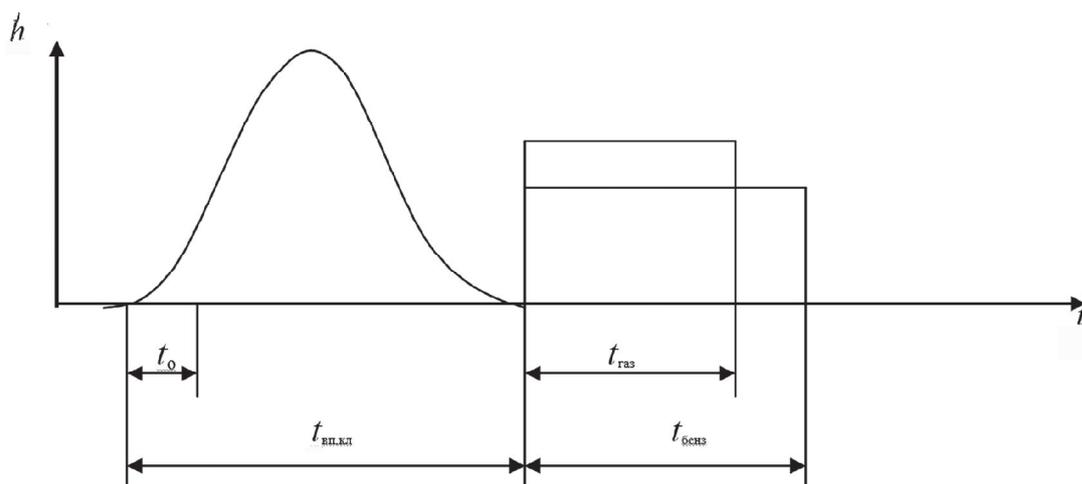


Рис. 4. График фазы непосредственного впрыска бензина и газа в камеру сгорания относительно фазы открытия впускного клапана

3. ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОДНОВРЕМЕННУЮ ПОДАЧУ ГАЗА И БЕНЗИНА В ДВС С ИСКРОВОМ ЗАЖИГАНИЕМ

Варианты системы электронного управления ДВС:

- два независимых электронных блока управления для управления топливоподачей бензина и газа с независимым программным обеспечением, сигналы основных датчиков контроля параметров ДВС используются в обоих блоках;

- один электронный блок управления двигателем для управления топливоподачей бензина и газа с общими алгоритмом и программой управления.

Первый вариант представляет собой жёсткую схему управления, где заложены две независимые программы управления с определённым соотношением впрыска бензина и газа, которые невозможно скорректировать без внешнего вмешательства в программное обеспечение обоих блоков управления. Этот вариант наиболее приемлем для предварительных работ по системам с двухтопливной одновременной подачей бензина и газа, а также для работ по переоборудованию серийных автомобилей в условиях специализированных станций [2].

Второй вариант системы позволяет более мягче управлять соотношением долей впрыскиваемого бензина и газа в зависимости от режимных параметров ДВС и внешних факторов, т.к. алгоритм управления как бензиновым, так и газовым контурами взаимосвязан единым программным обеспечением, которое можно выполнить самообучающимся в зависимости от долей жидкого и газового топлив [3]. Этот вариант приемлем только для разработчиков и изготовителей двигателей и автомобилей в серийном производстве [2].

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Одновременное использование двух видов топлив в ДВС как при впрыске во впускной трубопровод, так и при непосредственном впрыске в камеру сгорания позволяет при соответствующих доработках получить все преимущества как бензинового варианта двигателя, так и газового, а именно высоких экологических показателей при сохранении или улучшении его эксплуатационных характеристик и экономичности.

2. Одновременная подача бензина и газа в ДВС с искровым зажиганием требует иметь две механически независимые топливные системы с единой электронной системой управления, что ведёт к усложнению и удорожанию двигателя.

3. В зависимости от целей, которых необходимо достигнуть при работе ДВС на бензине и газе, требуется решить различные конструкторские задачи связанные с доработками:

- топливной системы;
- конструкции двигателя;
- электронной системы управления двигателем и его системами;
- алгоритма управления ДВС на двух видах топлива, основы которого кратко описаны в данной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишков В.А. Алгоритм управления и диагностики состояния электромагнитных газовых форсунок ДВС с искровым зажиганием // АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. 2006. №6 (30). С.46-48.
2. Шишков В.А., Терентьев Б.А., Пашин Ю.М. Проблемы организации производства и преимущества сборки автомобилей, работающих на компримированном природном газе, на главном конвейере сборочного

автозавода // АвтоГазоЗаправочный Комплекс +
Альтернативное топливо. 2005. №5 (23). С.46-49.
3. *Шишков В.А.* Алгоритм адаптации электронной сис-

темы управления ДВС к различным химическим
составам газового топлива // Транспорт на альтер-
нативном топливе. 2008. №1. С.30...35.

SIMULTANEOUS SUBMISSION GAS AND LIQUID FUEL IN OF INTERNAL COMBUSTION WITH SPARK IGNITION

© 2011 V.A. Shishkov

Samara State Aerospace University named after S.P. Korolev
(National Research University)

In work the opportunities of systems and algorithm of management are considered at simultaneous submission gas and liquid fuel in the engine of internal combustion with spark ignition. Their advantages and lacks, and also condition of applicability are given depending on mode of operations the engine of internal combustion, constructive circuit of submission and characteristics of elements of fuel system.

Key words: engine of internal combustion, electronic control system of the engine, gas fuel, simultaneous submission fuel.