

РАБОТА ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИСКРОВОМ ЗАЖИГАНИЕМ НА ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ ПРИ ПРОПУСКАХ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

© 2011 В. А. Шишков

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

Рассмотрена работа двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с искровым зажиганием с электронной системой управления при пропусках воспламенения как на бензине, так и на газовом топливе. Показано отрицательное воздействие пропусков воспламенения на работу двигателя на обоих видах топлива. Описан алгоритм определения пропусков воспламенения в зависимости от имеющихся сигналов с датчиков электронной системы управления ДВС. Предложены пути совершенствования алгоритма управления ДВС при пропусках воспламенения при работе на газовом топливе и возможности обратного переключения на бензин цилиндров, в которых они происходят.

Двигатель внутреннего сгорания, электронная система управления двигателем, алгоритм, пропуск воспламенения, газовое топливо.

1. Пропуски воспламенения

Пропуски воспламенения возникают по следующим причинам:

- при большом обеднении топливовоздушной смеси $\alpha \gg 1$ (возможные причины: нарушение дозирования топлива из-за засорения жиклёра электромагнитной форсунки или её неисправности, неисправности датчика массового расхода воздуха (ДМРВ), подсос воздуха из атмосферы во впускной системе между ДМРВ и впускным клапаном и т.д.);

- при большом обогащении топливовоздушной смеси $\alpha \ll 1$ (возможные причины: заливает топливом свечу зажигания из-за неисправности электромагнитной форсунки, неисправность ДМРВ, подсос воздуха из атмосферы в выпускной системе между выпускными клапанами и управляющим датчиком содержания кислорода в отработавших газах, неисправность в системе подогрева газового редуктора или недостаточный расход охлаждающей жидкости, подаваемой в газовый редуктор, особенно в холодный период времени. Например, для пропан-бутана подогрев редуктора необходимо брать от шлангов, идущих к отопителю салона, а не соединять его последовательно с обогревом дроссельного патрубка, где расход охлажда-

ющей жидкости не велик из-за малого сечения отверстий для её прохода в корпусе дроссельного патрубка. Если в летний период времени этого расхода охлаждающей жидкости и будет достаточно для испарения пропан-бутана, то в холода начнутся проблемы с устойчивостью работы ДВС);

- при неисправности свечи зажигания (возможные причины: увеличенный или уменьшенный зазор между электродами по сравнению с рекомендуемым, трещина на изоляторе, проскакивание искры по корпусу при рабочем давлении в камере сгорания, отложения загрязняющих веществ на электродах и изоляторе);

- при неисправности высоковольтных проводов (возможные причины: выгорание внутреннего проводника с появлением в нём зазора, пробой через изоляцию на массу);

- при неисправности катушки зажигания (возможные причины: межвитковые внутренние замыкания, снижающие высоковольтное напряжение, возникновение внутреннего обрыва провода катушки из-за термических напряжений между проводом и эпоксидной смолой, используемой для его заливки в корпусе) [1];

- из-за негерметичности впускного или

выпускного клапанов, что снижает компрессию в цилиндре;

- при нарушении фазы впрыска топлива (возможные причины: периодические сбои в работе датчика положения коленчатого вала из-за увеличенного зазора между датчиком и зубчатым шкивом или из-за плохого контакта в соединениях колодок жгута проводов, или из-за нарушения изоляции провода, идущего от датчика, обрыв или надрыв резинового демпфера в зубчатом шкиве);

- при нарушении фазы зажигания [1] и т. д.

Пропуски воспламенения опасны для двигателей, имеющих электронную систему управления с обратной связью по сигналу датчика кислорода в отработавших газах. В этом случае, при возникновении пропуска воспламенения в одном из цилиндров в отработавших газах, датчик кислорода обнаруживает избыток кислорода в отработавших газах, что, в свою очередь, приводит к увеличению топливopодачи в соседние нормально работающие цилиндры. Работа двигателя нарушается, он не выполняет норм по токсичности отработавших газов. По европейским нормам Евро-3 и Евро-4 допускается до 2 % пропусков воспламенения, при этом токсичность отработавших газов должна укладываться в соответствующие нормы. При увеличении пропусков воспламенения более 2 % электронный блок управления отключает данный цилиндр, при этом в нём прекращается топливopодача и для некоторых ДВС зажигание, а управление двигателем по сигналу датчика кислорода выключается для нормальной работы других цилиндров (данная функция реализована не на всех моделях автомобилей). После останова и последующего пуска двигателя топливopодача и зажигание в неисправном цилиндре восстанавливаются, но если пропуски зажигания повторяются, то снова происходит его отключение.

2. Пропуски воспламенения при работе на газовом топливе

Очень часто при установке газобаллонного оборудования (ГБО) 4-го поколения с электромагнитными газовыми форсунками возникают пропуски воспламенения или из-

за неисправности одной из газовых форсунок, или при значительном отклонении через неё расхода газа от номинального значения [2]. Это приводит к отключению одного из цилиндров. Внешне дефект проявляется в неустойчивой работе двигателя и резком изменении содержания кислорода в отработавших газах (сигнал с датчика кислорода обычно показывает переобогащение топливовоздушной смеси, если увеличение топливopодачи на другие цилиндры произошло до момента отключения данного цилиндра, или показывает переобеднение топливовоздушной смеси, если отключение цилиндра по пропускам воспламенения произошло до увеличения топливopодачи на другие цилиндры). В этом случае нормальная настройка газовой системы с помощью автоматической калибровки становится невозможной. Оборудование для проверки расхода газа через электромагнитные форсунки у многих установщиков ГБО отсутствует, поэтому им сложно понять причину отключения одного из цилиндров. Этого не было бы, если бы качество производимых газовых форсунок от поставщика было стабильным.

Для быстрого определения причин неустойчивой работы двигателя на газовом топливе необходимо:

- остановить ДВС;
- переключить работу ДВС с газа на бензин;
- выполнить пуск ДВС на бензине и проработать на режиме холостого хода 10...15 минут;
- выполнить диагностику работы электронной системы управления ДВС с помощью диагностического тестера (Tech, ДСТ-2, Мотор тестер и т.д.) на бензине; если замечаний не обнаружено, то переключиться на газ; если обнаружены пропуски воспламенения при работе на бензине, то необходимо определить их причину и устранить, а затем выполнить автоматическую калибровку и проверки при работе ДВС на газовом топливе;
- если возникла неустойчивая работа ДВС на газе, то необходимо выполнить диагностику электронной системы управления при работе на газе с помощью диагностичес-

кого тестера (Tech, ДСТ-2, Мотор тестер и т. д.); если прибор обнаружил код ошибки по пропускам зажигания, то по номеру ошибки определить номер цилиндра, в котором это произошло;

- если ДВС работает на бензине без замечаний, то основной причиной отключения одного из его цилиндров при работе на газе является нарушение в нём газовой подачи, т.е. необходимо провести проверку расходных характеристик газовых форсунок на специализированном стенде. Неисправную газовую форсунку заменить на новую или в случае возможности настройки выполнить её. При этом отклонение между расходными характеристиками форсунок, установленных на одном двигателе, не должно быть более 5 %. При больших значениях отклонений выполнить их настройку или заменить на новые.

Необходимо отметить, что некоторые модели автомобилей, изготовленные под нормы токсичности Евро-2, не имеют в алгоритме управления ДВС функции отключения цилиндра, в котором происходят пропуски воспламенения. Поэтому в этом случае диагностика ДВС с помощью тестеров при работе на бензине и газе не сможет определить эту неисправность. В этом случае сигнал с датчика кислорода будет показывать обеднение топливовоздушной смеси, что приведёт к ещё большей неустойчивости работы ДВС на газовом топливе из-за переобогащения топливовоздушной смеси на других цилиндрах. Это, в свою очередь, приведёт к повышенному расходу топлива примерно на 25 %. В этом случае токсичность отработавших газов не будет соответствовать нормам Евро-2, но перегрева выпускной системы и нейтрализатора не будет, т.к. избыток топлива заберёт часть их теплоты на теплоту испарения и на разложение углеводородов на лёгкие фракции. При этом есть вероятность отложения тяжёлых фракций углеводородов на внутренних поверхностях элемента нейтрализатора, что приведёт к повышенному выбросу углеводородов СН и окисла углерода СО. Для последующего восстановления эффективности нейтрализатора необходимо устранить неисправности, связанные с пропусками воспламенения, и «прожечь» нейт-

рализатор от отложений углеводородов, проехав по загородной трассе со средней нагрузкой на экономичном режиме движения со скоростью от 80 до 100 км/ч расстояние от 20 до 60 км. Этот способ позволяет очистить нейтрализатор от отложений углеводородов только в том случае, если период эксплуатации автомобиля с пропусками воспламенения был невелик. При движении с максимальной нагрузкой со скоростью более 120 км/ч двигатель работает на обогащённой топливовоздушной смеси, что не способствует очистке нейтрализатора от отложений углеводородов.

Вероятность возникновения пропусков воспламенения при добавках газообразного водорода в бензин или газообразное топливо снижается из-за малой энергии вспышки смеси водорода с воздухом. Молекулы водорода в смеси с молекулами кислорода в воздухе являются активными центрами воспламенения всей топливовоздушной смеси.

Вероятность возникновения пропусков воспламенения при работе ДВС на углеводородном газовом топливе (компримированный природный газ (КПГ), пропан-бутан), наоборот, значительно выше из-за того, что для воспламенения газовой топливовоздушной смеси (КПГ-воздух, пропан-бутан-воздух) требуется большая энергия искрового разряда на свече зажигания, т.к. температура вспышки этих смесей значительно выше, чем температура вспышки паров бензина с воздухом. Поэтому, если газовые форсунки имеют расходные характеристики в поле допуска, то причиной возникновения пропусков воспламенения может быть или система зажигания, или недостаточный подогрев, или наличие жидкой газовой фазы (для пропан-бутана) на выходе из редуктора. Перегрев газа на входе в газовую рампу может также привести к пропускам воспламенения из-за значительного обеднения газовой смеси при снижении его плотности в зависимости от температуры. Для быстрого поиска неисправности диагностику системы зажигания необходимо выполнять при работе на бензине в соответствии с инструкцией по ремонту и обслуживанию конкретного двигателя и автомобиля.

Особое внимание необходимо уделить датчикам температуры и давления газа в рампе форсунок, т.к. по величине их сигналов ведётся коррекция топливоподачи в ДВС. Если показания этих датчиков не соответствуют реальной температуре и давлению газа, то газозвдушная смесь может оказаться переобеднённой или переобогащённой, что, в свою очередь, также может привести к неустойчивой работе ДВС и к пропускам воспламенения. Инерционность датчика температуры обычно составляет около 2...3 с, а это означает, что наличие двухфазного потока газа на входе в рампу форсунок происходит неверная коррекция топливоподачи в электронном блоке управления ДВС. Некоторые датчики температуры газа на входе в рампу форсунок имеют пластмассовый корпус, что увеличивает их инерционность до 5 с. Кроме этого, необходимо правильно устанавливать рампу газовых форсунок и датчики температуры и давления газа на входе в моторном отсеке на конкретном автомобиле. Если датчик температуры будет обдуваться встречным потоком воздуха, то показания его изменяются и коррекция топливоподачи нарушается. Это особенно заметно в холодный период времени, когда по этой причине может возникнуть неустойчивая работа ДВС, приводящая к пропускам воспламенения или повышенной неполноте сгорания из-за обеднения газозвдушной смеси, а в жаркий период времени, наоборот, к переобогащению. Поэтому датчик температуры газа в рампе форсунок должен быть расположен в такой зоне моторного отсека, в которой на него будет минимальное воздействие внешних факторов (набегающий поток воздуха, влияние температуры нагретых частей двигателя, попадание атмосферных осадков).

3. Алгоритм обнаружения пропусков воспламенения

При работе на газовом топливе алгоритм такой же, как и при работе на бензине. Построение этого алгоритма зависит от наличия одного или нескольких необходимых датчиков на ДВС:

- датчик положения коленчатого вала;
- датчик детонации;
- датчик давления в камере сгорания;

- датчик ионных токов при сгорании топливовоздушной смеси;
- датчик температуры в камере сгорания.

3.1. При наличии датчика положения коленчатого вала пропуски воспламенения в одном из цилиндров ДВС определяются по знаку (отрицательный или положительный) и величине модуля скорости изменения частоты вращения коленчатого вала (или приравненная к нулю вторую производную (ускорение) частоты вращения коленчатого вала по времени) или знаку и величине изменения крутящего момента. Условия пропуска воспламенения:

$$|dn/dt| < n_t \quad \text{и (или)} \quad M_{кр} < M_t,$$

где dn/dt - величина скорости изменения частоты вращения коленчатого вала;

$n_t = f(d\beta/dt; n; G_g)$ - некоторая граничная функция скорости изменения частоты вращения коленчатого вала, зависящая от скорости нажатия на педаль акселератора $d\beta/dt$, частоты вращения коленчатого вала n и расхода воздуха G_g (нагрузки) через ДВС. Значение n_t на стационарном режиме может быть, например, 25...100 1/мин/с, а для режима ускорения, например, 0...25 1/мин/с, причём диапазоны этих значений больше примерно на 10...25 % для двигателя, работающего на газе, по сравнению с двигателем, работающим на бензине; $M_{кр} = f(\gamma)$ - величина максимального крутящего момента каждого цилиндра является функцией угла положения коленчатого вала γ , $M_t = f(d\beta/dt; n; G_g)$ - некоторая граничная функция изменения крутящего момента, зависящая от скорости нажатия на педаль акселератора $d\beta/dt$, частоты вращения коленчатого вала n и расхода воздуха G_g (нагрузки) через ДВС. Для каждого конкретного двигателя значения этой функции на стационарном режиме и режиме ускорения также будут различны, причём диапазоны этих значений больше примерно на 10...25% для двигателя, работающего на газе, по сравнению с двигателем, работающим на бензине. Последнее, в свою очередь, связано с конкретным снижением мощности и крутящего момента при переключении с бензина на газовое топливо. Для двигателя с наддувом цилиндров или с увеличенной сте-

пенью сжатия для работы на газе диапазоны граничных функций будут аналогичны тем, которые определены для двигателя, работающего на бензине, т.к. изменение мощности и крутящего момента при переходе с одного вида топлива на другое незначительно.

Изменение частоты вращения коленчатого вала при пропуске воспламенения показано на рис. 1, а изменение крутящего момента при работе всех 4 цилиндров - на рис.2.

Если педаль акселератора находится в стационарном положении $\beta = const$ (β – угол положения педали акселератора) или в режиме нажатия $d\beta/dt > 0$, то при возникновении пропуска воспламенения в одном из цилиндров на постоянном режиме возникнет кратковременный провал частоты вращения, а на режиме ускорения он не даст прироста

этой частоты вращения, т.е. или будет провал по величине крутящего момента на стационарном режиме, или он не возрастет при ускорении по сравнению с работой предыдущего и последующего рабочих ходов соответствующих цилиндров, т.е. $(dn/dt) -$ отрицательное или равное 0, а в предыдущем $(dn/dt)_{-1}$ и последующем $(dn/dt)_{+1}$ - положительные.

Для стационарного режима работы ДВС (рис. 2) при пропуске воспламенения или при вялом сгорании газовой смеси в одном из цилиндров произойдет снижение максимального значения крутящего момента (например, при углах положения коленчатого вала 130 градусов от верхней мёртвой точки (ВМТ) для 1-го цилиндра, 310 градусов для 3-го цилиндра, 490 градусов для

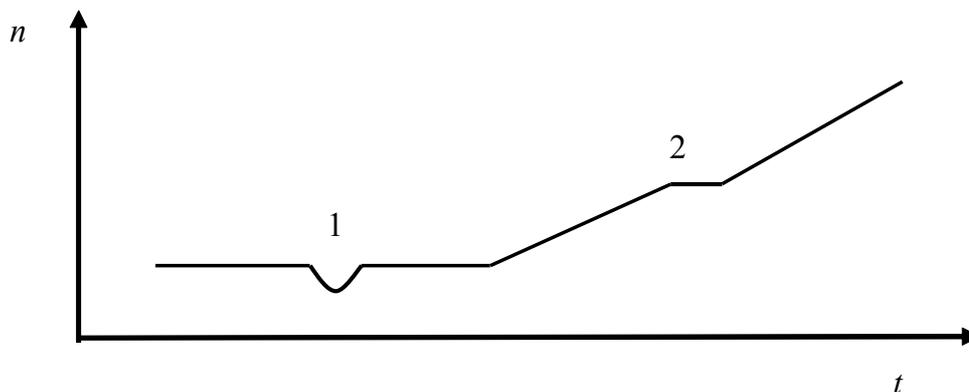


Рис. 1. Изменение частоты вращения коленчатого вала по времени при пропуске воспламенения на стационарном режиме и при увеличении режима работы ДВС:

1 – пропуск воспламенения на стационарном режиме при постоянной частоте вращения коленчатого вала; 2 – пропуск воспламенения при увеличении режима работы двигателя

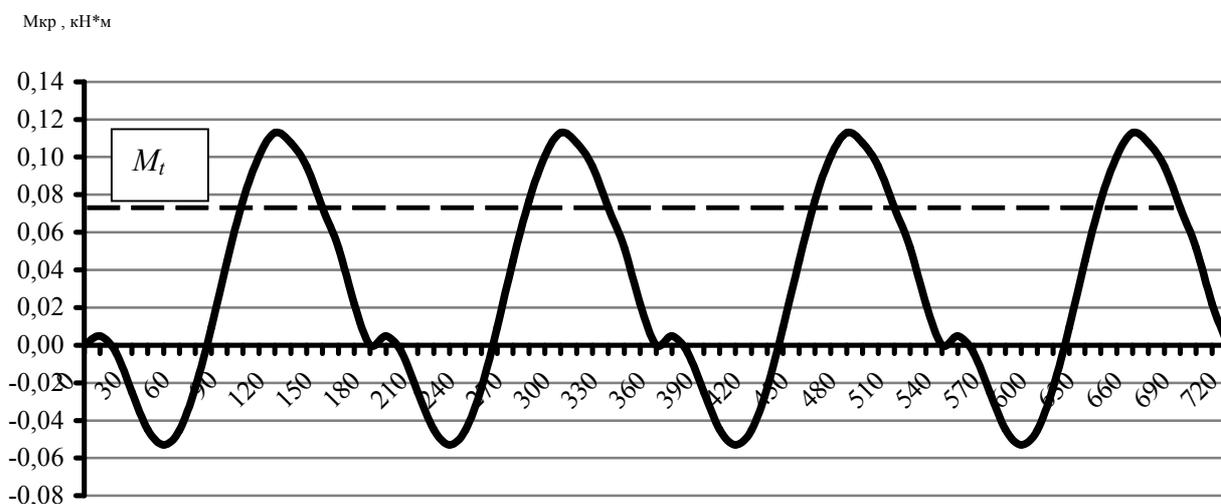


Рис. 2. Суммарный крутящий момент в зависимости от угла положения коленчатого вала γ на одном из режимов работы ($n = const, G_e = const$) для 4-цилиндрового ДВС

4-го цилиндра и 670 градусов для 2-го цилиндра, если порядок работы цилиндров 1-3-4-2) с 11,3 кН·м до значения ниже граничного M_r .

Кроме того, при обнаружении провала крутящего момента в момент рабочего хода одного из цилиндров или отсутствия его прироста в режиме ускорения электронный блок управления определяет номер этого цилиндра и далее ведёт в нём счёт количества пропусков воспламенения. При достижении 2 % пропусков воспламенения электронный блок управления отключает топливоподачу через форсунку в данный цилиндр, подачу зажигания в нём, а также отключает обратную связь по сигналу с датчика кислорода в отработавших газах. Если педаль акселератора в режиме сброса газа $d\beta/dt < 0$, то происходит кратковременная отсечка топливоподачи с последующим её восстановлением до режима, соответствующего конечному положению педали акселератора. В этом случае алгоритм обнаружения пропусков воспламенения необходимо отключить, чтобы не было ложных отключений цилиндров.

3.2. При наличии датчика детонации его сигнал также можно использовать в качестве исходного для обнаружения пропусков воспламенения в цилиндрах ДВС или в дополнение к сигналу датчика положения коленчатого вала, описанного выше, для повышения достоверности определения пропуска воспламенения.

Сигнал с датчика детонации в этом случае пропускается через специальный фильтр в соответствии с частотой вращения коленчатого вала ДВС. По величине амплитуды и частоте колебаний во время рабочего хода соответствующего цилиндра определяют наличие пропуска воспламенения или вялого горения с высокой неполнотой сгорания путём сравнения значения амплитуды с некоторой граничной функцией. Граничную функцию можно определить экспериментальным путём изменения неполноты сгорания в цилиндре ДВС при изменении величины обеднения и обогащения газовой смеси вплоть до получения пропуска воспламенения при разных температурах охлаждающей жидкости и различных внешних условиях. Если величина амплитуды A_{dd} сигнала с датчика детонации ниже величины A_f граничной функции при соответствующих внешних условиях, то в данном цилиндре наблюдается пропуск воспламенения. Для процесса вялого горения для различной неполноты сгорания газовой смеси можно установить свою граничную функцию. На рис. 3 схематично показана возможность определения пропуска воспламенения с помощью сигнала с датчика детонации.

Необходимо отметить, что желательно использование сигнала с датчика детонации для обнаружения пропусков воспламенения совместно с сигналом датчика неровной дороги, что обеспечит наиболее точное опре-

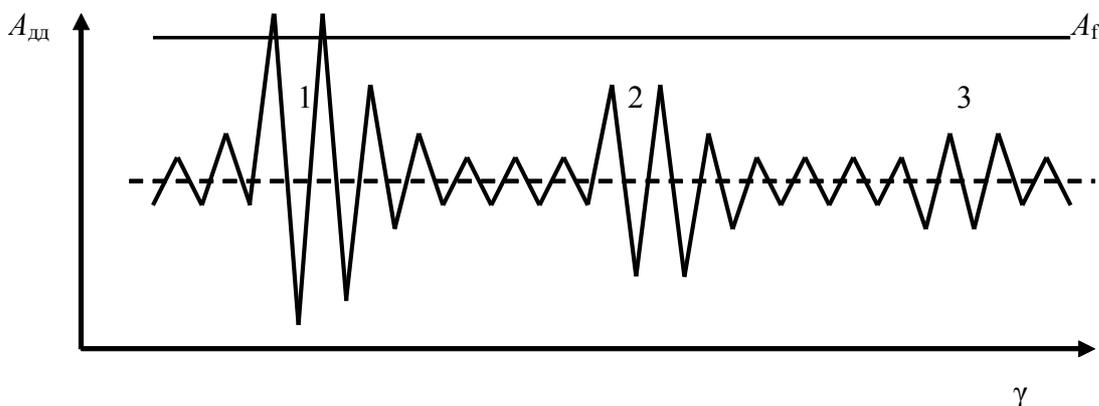


Рис. 3. Изменение амплитуды сигнала датчика детонации по углу положения коленчатого вала или по времени при пропуске воспламенения:

A_f - граница амплитуды сигнала датчика детонации для обнаружения пропуска воспламенения;

1 - нормальный процесс сгорания газовой смеси в цилиндре; 2 - вялый процесс горения с большой неполнотой сгорания; 3 - пропуск воспламенения при работе ДВС

деление пропуская воспламенения или вялого горения с высокой неполнотой сгорания с высокой вероятностью. Номер цилиндра, в котором наблюдается пропуск воспламенения, определяется при помощи синхронизации сигналов с датчиков детонации и неровной дорожки с фазой рабочего хода соответствующего цилиндра, которая, в свою очередь, может быть определена или по фазе сигнала с датчика положения коленчатого вала или по фазе впрыска топлива в соответствующий цилиндр ДВС.

3.3. При наличии датчика давления в камере сгорания пропуск воспламенения можно определить по отсутствию или недостаточному росту давления p_e в процессе горения топливовоздушной смеси в цилиндре, если был осуществлён впрыск топлива в этот цилиндр и соответственно подано зажигание. Условие пропуска воспламенения:

$$p_{ep} > p_e,$$

где $p_{ep} = f(\varepsilon; \gamma; T_{атм}; T_{двс}; p_{атм}; h; \eta; X_m; \eta_{сз}$ и т. д.) - некоторая граничная функция, зависящая от степени сжатия ε , угла положения коленчатого вала γ , температуры атмосферы $T_{атм}$, температуры двигателя $T_{двс}$, атмосферного давления $p_{атм}$, влажности атмосферного воздуха h , коэффициента наполнения цилиндров топливовоздушной смесью η , химического состава топлива [3] и продуктов сгорания X_m , полноты сгорания топливовоздушной смеси $\eta_{сз}$ и других параметров.

Уровень граничной функции по давлению в камере сгорания при работе на газовом топливе по сравнению с работой на бензине будет ниже, если не предусмотрен наддув цилиндров или увеличение степени сжатия при работе на газовом топливе.

На рис. 4 схематично показано изменение давления в камере сгорания ДВС при нормальном горении и при пропуске воспламенения или вялом неполном сгорании топливовоздушной смеси.

Для улучшения достоверности определения пропуска воспламенения или вялого горения необходимо сравнить величину скорости увеличения давления в камере сгорания в процессе горения топливовоздушной смеси с некоторой граничной функцией:

$$p_t > dp_e/dt \text{ и (или) } p_t > dp_e/d\gamma,$$

где $d\gamma$ – изменение угла положения коленчатого вала в процессе горения топливовоздушной смеси в цилиндре; $p_t = f(\varepsilon; \gamma; T_{атм}; T_{двс}; p_{атм}; h; \eta; X_m$ и т. д.) - некоторая граничная функция, зависящая от степени сжатия ε , угла положения коленчатого вала γ , температуры атмосферы $T_{атм}$, температуры двигателя $T_{двс}$, атмосферного давления $p_{атм}$, влажности атмосферного воздуха h , коэффициента наполнения цилиндров топливовоздушной смесью η , химического состава топлива и продуктов сгорания X_m и других параметров.

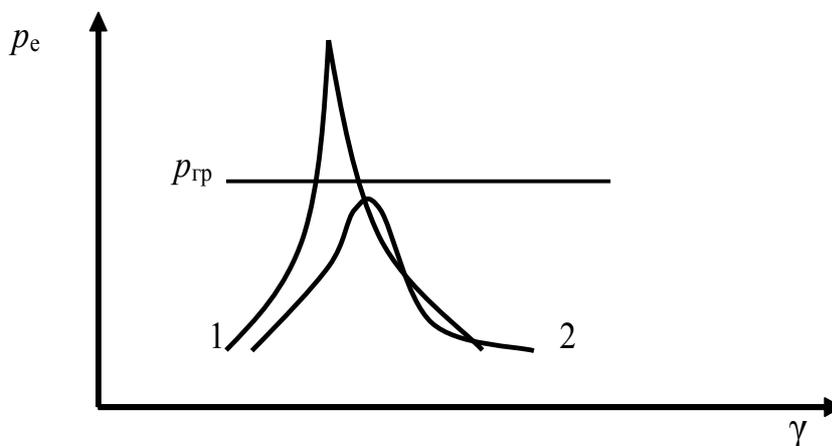


Рис. 4. Изменение давления в камере сгорания в процессе горения топливовоздушной смеси по углу положения коленчатого вала относительно верхней мертвой точки поршня: 1 – изменение давления при нормальном горении топливовоздушной смеси; 2 – изменение давления при пропуске воспламенения или вялом неполном сгорании

При отсутствии впрыска топлива и отсутствии сигнала на зажигание при отсечке в режиме сброса газа алгоритм обнаружения пропусков воспламенения выключается.

3.4. При наличии датчика ионных токов в камере сгорания пропуски воспламенения определяются по величине этого тока в сравнении с некоторой функцией. Условие пропуска воспламенения в этом случае:

$$I_{gp} > I,$$

где $I_{gp} = f(\gamma; T_c; U_p; p_e; h; X_m; \eta_{ce})$ - некоторая граничная функция ионного тока, зависящая от угла положения коленчатого вала γ , температуры горения топливовоздушной смеси T_c , величины напряжения на датчике ионных токов U_p , давления в камере сгорания в процессе горения топливовоздушной смеси p_e , влажности атмосферного воздуха h , химического состава топлива и продуктов сгорания X_m , полноты сгорания топливовоздушной смеси η_{ce} и других параметров.

Изменение ионного тока при нормальном горении и при пропуске воспламенения или вялом неполном сгорании топливовоздушной смеси показано на рис. 5.

По аналогии с датчиком давления в камере сгорания для большей достоверности обнаружения пропуска воспламенения можно ввести дополнительное условие по проверке скорости нарастания ионного тока dI/dt (или $dI/d\gamma$) в процессе горения топливовоздушной смеси в сравнении с некоторой граничной функцией.

3.5. При наличии датчика температуры в камере сгорания пропуски воспламенения определяют по уровню средней температуры во всём объёме камеры сгорания в процессе горения топливовоздушной смеси в сравнении с некоторой граничной функцией. Условие пропуска воспламенения в этом случае:

$$T_{gp} > T_{n2},$$

где T_{gp} – граничная функция режима работы ДВС, состава топливовоздушной смеси, вида топлива и внешних условий; T_{n2} – температура продуктов сгорания в определённом диапазоне углов положения коленчатого вала γ в процессе горения топливовоздушной смеси.

Графическое изображение данного условия обнаружения пропуска воспламенения похоже на условие с ионными токами (рис. 4).

Все граничные функции для любого из вышеназванных датчиков можно определить экспериментальным путём. Для этого определяются значения функций Δn , $\Delta M_{кр}$, p_e , I , T_{n2} на всех режимах работы ДВС, а затем вводят граничные функции, отличающиеся от этих параметров на 5...20 % в зависимости от конкретного двигателя и режима его работы.

Граничные функции можно определить и расчётным путём при расчёте параметров ДВС, делая запас по этим параметрам в 5...20 % в зависимости от конкретного двигателя и режима его работы. Но в этом слу-

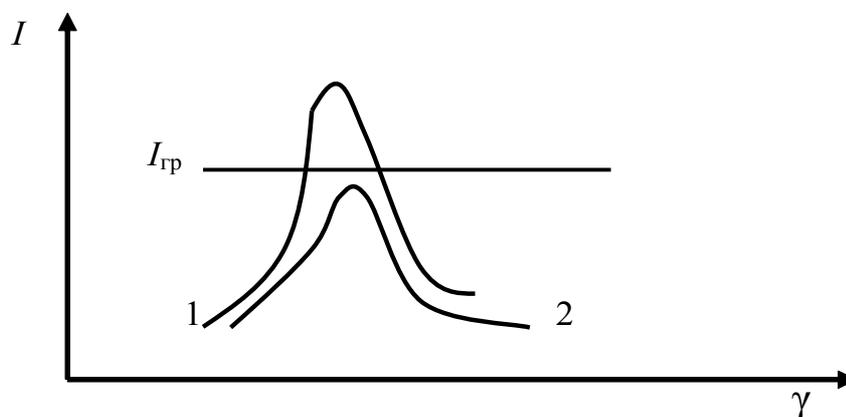


Рис. 5. Изменение ионного тока в камере сгорания в процессе горения топливовоздушной смеси:
1 – изменение ионного тока при нормальном горении топливовоздушной смеси;
2 – изменение ионного тока при пропуске воспламенения или вялом не полном сгорании

чае потребуется экспериментальная проверка полученных граничных функций, что фактически по затратам окажется выше, чем прямое экспериментальное их определение.

Граничные функции для различных газовых топлив и бензинов, а также различных двигателей отличаются друг от друга разным уровнем их протекания в зависимости от соответствующих параметров.

Работы по внедрению в систему управления ДВС последних трёх вышеназванных датчиков только начинаются и имеют большую перспективу, т.к. могут решить много проблем, связанных с точностью дозирования топлива, точностью процесса управления режимом ДВС, оптимизацией параметров ДВС, снижением расхода топлива, снижением токсичности отработавших газов и т.д. Для этого требуется разработать практически новый алгоритм управления ДВС.

4. Развитие алгоритма управления ДВС при работе на бензине и газе

Перспективным является алгоритм, в котором при обнаружении пропусков воспламенения при работе на газовом топливе более 2 % вместо отключения данного цилиндра его переключают на работу на бензине. При этом выдаётся код ошибки, по которому можно определить его номер для последующего устранения неисправности. В этом варианте двигатель будет работать без замечаний на всех цилиндрах, если причина пропуска воспламенения не в системе зажигания, а в системе газовой подачи. Если пропуски воспламенения в цилиндре, переведённом на работу с газа на бензин, продолжают, то только в этом случае происходит отключение из работы данного цилиндра с отключением управления по обратной связи с управляющего датчика содержания кислорода в отработавших газах.

Для снижения влияния неравномерных нагрузок при возвратно-поступательных движениях, снижения механического износа шатунно-поршневой группы (ШПГ) и вероятности её механических повреждений при работе двигателя с одним выключенным цилиндром включают режим ограничения мощности и крутящего момента. Этот алгоритм позволит во многих случаях нормально пе-

редвигаться автомобилю до станции технического обслуживания для устранения дефекта в системе подачи газового топлива. При выполнении автоматической калибровки газового электронного блока управления работы ДВС данный алгоритм необходимо выключать, чтобы он не вмешивался в формирование коэффициентов газовой подачи при возможных пропусках воспламенения или вялом неполном сгорании топливовоздушной смеси. После выполнения автоматической калибровки газового контура этот алгоритм включают и выполняют проверку его работы путём выключения подачи газа на одной из электромагнитных форсунок, при этом должна включиться в работу соответствующая бензиновая форсунка. В этом случае нет необходимости ограничения режима работы двигателя по мощности и крутящему моменту.

При возникновении пропуска воспламенения или вялого неполного сгорания газозвушной смеси по причинам её переобеднения или переобогащения в одном или нескольких цилиндрах представляется возможность введения в алгоритм управления функции самообучения электронного блока управления по топливоподаче в данные цилиндры. Сущность этого алгоритма заключается в том, что отключение цилиндра при пропусках воспламенения происходит после проведения операций по изменению обеднения или обогащения газозвушной смеси на определённый промежуток времени с определением количества процентов пропусков воспламенения в данном цилиндре. Если этот процент снижается при определённом составе смеси, например, менее 2 %, то отключение цилиндра не происходит, а происходит запоминание коэффициента коррекции цикловой топливоподачи в данный цилиндр на данном режиме работы ДВС:

$$t_k = K_{об} \cdot t_p,$$

где t_k – скорректированное время впрыска газа через электромагнитную форсунку при наличии пропусков воспламенения не более 2 % от общего количества рабочих тактов данного цилиндра; t_p – расчётное время впрыска газа через электромагнитную фор-

сунку при работе ДВС без пропусков воспламенения; $K_{об} = f(n; G_g; N_g)$ – коэффициент обучения, являющийся функцией частоты вращения коленчатого вала, расхода воздуха G_g через ДВС и количества N_g пропусков воспламенения в данном цилиндре.

Если не происходит изменения процентов пропусков воспламенения в данном цилиндре, то пропуск воспламенения не связан с переобеднением или переобогащением газозооушной смеси, а возникает он по одной из причин, указанных в разделе 1 данной работы. В этом случае происходит отключение данного цилиндра.

Для начала самообучения в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки на двигатель определяется один коэффициент коррекции топливоподачи для всего диапазона режимных параметров ДВС, а далее его можно уточнять в зависимости от конкретного режима работы и записывать в память электронного блока управления ДВС. По осреднённому значению коэффициента коррекции топливоподачи в конкретном цилиндре ДВС, который можно считать с электронного блока управления с помощью диагностической программы или тестера, можно определять состояние газовых электромагнитных форсунок. В случае значительного отклонения данного коэффициента от единицы, например, более чем на 5 % в одну или другую сторону, выдаётся код ошибки, по которому необходимо выполнить настройку расходной характеристики, или заменить данную газовую форсунку на новую, или выполнить дополнительные проверки, которые выявят причины переобеднения (подсос дополнительного воздуха во впускном трубопроводе) или переобогащения (негерметичность впускного или выпускного клапанов) в данном цилиндре. Для получения достоверных данных по коэффициенту коррекции топливоподачи в конкретный цилиндр ДВС при пропусках воспламенения алгоритм самообучения, например, включают на стационарных режимах работы и выключают

при сбросе или увеличении частоты вращения коленчатого вала.

Заклучение

1. Наличие пропусков воспламенения (более 2 %) при работе ДВС на газовом топливе для автомобилей, выполняющих нормы токсичности Евро-3 и выше, приводит к отключению цилиндра, в котором они наблюдаются.

2. Предложен метод поиска неисправности при пропусках воспламенения при работе ДВС на газовом топливе.

3. Для реализации в программном обеспечении в электронном блоке управления ДВС описаны основы алгоритма обнаружения пропусков воспламенения или вялого неполного сгорания топливозооушной смеси в камере сгорания в процессе работы двигателя.

4. Даны предложения по развитию алгоритма управления ДВС при пропусках воспламенения или вялом неполном сгорании газозооушной смеси.

Библиографический список

1. Шишков, В. А. Определение величины увеличения угла опережения зажигания при переключении с бензина на газ в зависимости от скорости горения топливной смеси [Текст] / В. А. Шишков // Транспорт на альтернативном топливе. Международный научно-технический журнал. - 2008. - № 3. - С.20-23.

2. Шишков, В.А. Алгоритм управления и диагностики состояния электромагнитных газовых форсунок ДВС с искровым зажиганием [Текст] / В. А. Шишков // АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. Международный научно-технический журнал. - 2006. - № 6 (30). - С.46-48.

3. Шишков, В.А. Алгоритм адаптации электронной системы управления ДВС к различным химическим составам газового топлива [Текст] / В. А. Шишков // Транспорт на альтернативном топливе. Международный научно-технический журнал. - 2008. - № 1. - С.30-35.

**OPERATION OF AN ELECTRONIC SYSTEM OF CONTROL FOR SPARK-IGNITION
GAS FUEL INTERNAL COMBUSTION ENGINES IN IGNITION MISSES**

© 2011 V. A. Shishkov

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

The paper is devoted to the operation of a spark-ignition internal combustion engine (ICE) with an electronic control system in ignition misses in case of using either petrol or gas fuel. The negative effect of ignition misses on the operation of engines using both kinds of fuel is shown. An algorithm of identifying ignition misses according to the signals from the gauges of the electronic control system is described. Ways of improving the algorithm of ICE control in ignition misses in case of using gas fuel and possibilities of reversal of the cylinders wherein they take place to petrol are suggested.

Internal combustion engine, electronic system of engine control, algorithm, ignition miss, gas fuel.

Информация об авторе

Шишков Владимир Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), начальник технического отдела ООО «Рекар». E-mail: Vladimir-Shishkov@yandex.ru. Область научных интересов: системы управления ДВС на альтернативных видах топлива.

Shishkov Vladimir Alexandrovitch, candidate of technical sciences, associate professor of the department of mashinostroenie, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: Vladimir-Shishkov@yandex.ru. Area of research: control systems of internal combustion engines using alternative kinds of fuel.