

# УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО МОДЕЛИ

А.О. Борисов, С.А. Загайко

*Несовершенство регулирования основных выходных показателей двигателя токсичности и индикаторной работы связано, прежде всего, с погрешностями определения расхода воздуха. Следствием этого является нарушение монотонности изменения частоты вращения вала двигателя при его разгоне и повышенный выброс токсичных компонентов при каждом изменении режима работы, несмотря на наличие нейтрализатора.*

Наглядным критерием точности дозирования топлива являются показатели токсичности двигателя, оснащенного трехкомпонентным нейтрализатором. Как известно, программа дозирования топлива в этом случае определяется из условия обеспечения стехиометрического состава смеси, отклонения от которого в отдельных циклах более чем на 1,5...2,0 % приводят к снижению эффективности нейтрализатора практически до нуля и легко регистрируются по показаниям газоанализаторов. Более длительные отклонения в составе смеси регистрируются непосредственно осциллографированием напряжения датчика содержания кислорода - рис.1.

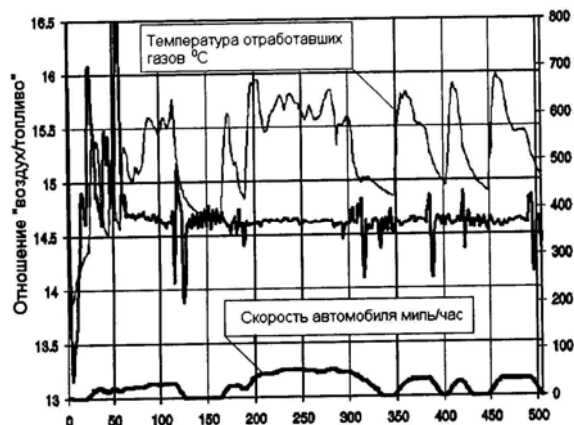


Рис. 1

Эти наблюдения за работой двигателя на режимах ездового цикла доказывают, что современные системы управления не обеспечивают требуемой точности, несмотря на постоянное повышение точности расходомера воздуха, вспомогательных датчиков и усложнение алгоритма работы системы.

Для наглядности рассмотрим схему, поясняющую физический смысл неоднозначности параметров, характеризующих движение газа в некотором сечении (например, статического давления) количеству воздуха, на-

полняющего цилиндр двигателя через трубопровод - рис.2.

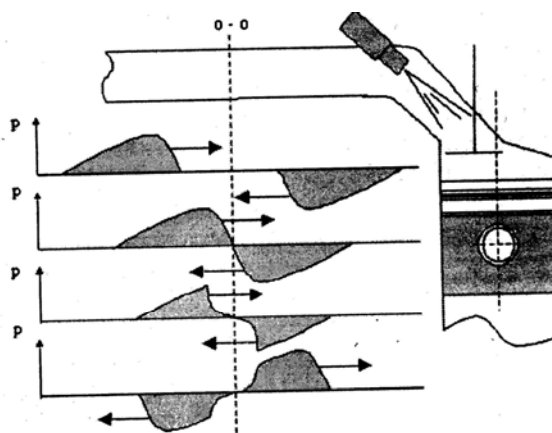


Рис. 2

Рассмотрим упрощенную физическую картину газодинамических явлений, происходящих в газозвушном тракте двигателя, особенности которых делают принципиально невозможным измерение циклового наполнения отдельных цилиндров по информации датчиков, которыми оснащены сегодня системы управления автомобильными двигателями.

В сечении о – о впускного канала установлен датчик статического давления (обычно применяемый в системах впрыска топлива). Как известно, при стационарном режиме течения газа в канале величина статического давления при прочих равных условиях однозначно определяет количество воздуха в цилиндре в данный момент времени. Далее рассмотрим ситуацию, когда при той же величине среднего давления в газе в канале к сечению о – о с противоположных сторон одновременно подходят волна сжатия и волна разрежения одной и той же амплитуды и длины. В соответствии с законами газовой динамики, результатом взаимодействия

этих волн между собой является неизменная величина статического давления в месте установки датчика. Таким образом, датчик давления не регистрирует прохождение волн, и система управления сохраняет подачу топлива на прежнем уровне. В то же время волна, прошедшая к клапану, может при определенных условиях изменить количество воздуха в рабочей камере на 20-60 %.

Естественно, что эта погрешность не может быть скомпенсирована алгоритмическим путем, и будет определять точность регулирования состава смеси.

Таким образом, особенности процесса газообмена, такие как распределенность параметров состояния газа по длине впускной трубы и нестационарность процессов газообмена двигателя, а также измерение датчиками, как правило, одного - двух параметров газа, что не определяет величины его массового расхода в месте установки датчиков, тем более - на клапане (в процессе наполнения цилиндра), приводят к неоднозначной зависимости наполнения отдельного цилиндра от параметров газового потока в сечении, где установлен датчик.

В технических системах, содержащих элементы с распределёнными параметрами, для однозначного описания движения газа необходимо определение начальных и граничных условий. Для установившихся режимов работы ДВС начальные условия роли не играют. Поэтому на этих режимах удается в процессе формирования программы САР установить однозначную зависимость между результатами локального измерения параметров потока воздуха и, например, цикловыми подачами топлива. Для неустановившихся режимов работы двигателя последовательность цикловых расходов воздуха через его рабочие камеры зависит от предыстории явлений в ГВТ и рабочей камере, которая проявляется в виде начальных условий, соответствующих моменту изменения режима работы, и которая не учитывается в современной практике регулирования ДВС. Кроме того, для неустановившихся режимов работы двигателя актуальна задача прогнозирования расхода воздуха, поскольку подача топлива и другие регулирующие воздействия должны быть определены до окончания процесса газообмена. Наличие продувки рабочей камеры создает неопределенность в определении ее наполнения независимо от способа и качества измерений.

Таким образом, следует признать принципиальную невозможность аппаратными

средствами определить количество окислителя в рабочей камере двигателя.

Поэтому представляет интерес рассмотреть возможность управления ДВС по модели [1].

Структурная схема системы управления двигателем по модели в идеальной постановке и решении задачи в полном объеме предполагает наличие вычислителя, производительность которого обеспечивает проведение расчетов в реальном масштабе времени и достаточно точных моделей процессов в двигателе и потребителе [2].

Система управления предполагает наличие цели управления, в качестве которой служат нормы расхода топлива, токсичных компонентов, уровень шума, ездовые качества автомобиля. В качестве возмущений цели управления служат изменения норм или методов их оценки (смена ездового цикла), например, при экспорте автомобиля.

Необходимым этапом программирования системы управления с моделью является операция ввода исходных данных: размеров элементов газоздушного тракта, камеры сгорания, законов движения органов газораспределения, кинематики ДВС, свойств рабочих жидкостей, поверхностей теплообмена, параметров потребителя и т.д.

В данном случае система должна содержать минимальный набор датчиков, необходимых для измерения внешних воздействий:

- давления и температуры окружающей среды,
- угла открытия дросселя,
- настройки потребителя,
- положения вала, сигнал которого необходим для фазовой синхронизации работы системы.

Сигналы этих датчиков через соответствующие преобразователи и порты сопряжения поступают в вычислитель, который, используя модели процессов в ДВС: термодинамического, охлаждения, механических потерь и т.п., и в потребителе, рассчитывает параметры наполнения и другие существенные характеристики следующего за текущим цикла и формирует необходимые для него управляющие воздействия: подачу топлива, угол опережения зажигания и проч. Эти воздействия через согласующие порты поступают на исполнительные механизмы подсистем двигателя: системы дозирования топлива, системы зажигания, рециркуляции, охлаждения и других, которые непосредственно воздействуют на индикаторный процесс, являю-

щийся объектом управления. Исполнительные механизмы и объект управления подвергаются воздействию возмущений: изменениям нагрузки и частоты циклов, температуры и давления окружающей среды, технического состояния агрегатов систем и пр.

Система управления может иметь замкнутый контур регулирования части выходных показателей. При этом вектор выходных показателей сравнивается с вектором заданных (в соответствии с целью управления) и по сигналу рассогласования производится подстройка модели.

Несмотря на идеальность постановки задачи, система управления с такой структурой может найти реальное применение - например, в кольцевых гонках или при выполнении ездового цикла. Качество управления цикловым расходом топлива в системах управления с моделью определяется точностью и быстротой производимых расчетов. Конечно, при обычной эксплуатации автомобиля невозможно иметь модель потребителя и нецелесообразно моделировать процессы в двигателе в полном объеме (например, в системе охлаждения ДВС в связи с непрогнозируемым загрязнением поверхностей теплообмена), что приводит к увеличению числа датчиков: появляются датчики частоты вращения и температуры охлаждающей жидкости.

Следует отметить, что в настоящее время делаются попытки коррекции дозирования топлива с помощью так называемых "прогнозаторов" - моделей, оценивающих цикловое наполнение цилиндров на режимах разгона. Однако, без учета волнового механизма движения газа в этих моделях, результатам прогноза присущи указанные выше погрешности.

На кафедре ДВС УГАТУ разработаны и апробированы модели процессов газообмена, позволяющие получить детальную картину нестационарного движения газа и вычислить цикловой расход воздуха в последовательных циклах. Однако, эти модели непосредственно не могут быть применены в качестве управляющих при современных возможностях бортовых процессоров. Поэтому основная проблема в создании рассмотренной системы управления поршневым ДВС - разработка на их базе "быстросчетных" моделей, сохраняющих характерные особенности газообмена и индикаторного процесса двигателя.

Кроме того, возможность реализации подобной системы ограничивают следующие соображения:

- погрешность расчета интегральных показателей двигателя по современным моделям, имитирующим рабочий процесс и механические потери, составляет 4...5 %, в то время как допустимая погрешность регулирования, например, состава смеси не превышает 1...1,5 %;

- требования к быстродействию моделей, вытекающие из необходимости регулирования в реальном времени, не позволяют использовать поэлементные нелинейные модели процессов;

- в практически важных случаях крайне затруднительным оказывается установление функциональных зависимостей между параметрами моделей процессов в двигателе, режимами его работы и внешними условиями;

- оказывается невозможным прогнозирование и, тем более, учет технического состояния двигателя и его систем в условиях эксплуатации.

Указанные обстоятельства вынуждают придавать системе управления двигателем свойства адаптации к изменяющимся свойствам объекта управления, что в первую очередь относится к программам дозирования топлива и регулирования опережения зажигания.

Для решения этой проблемы логично воспользоваться объединением возможностей моделирования и теории автоматического регулирования, которые могут быть реализованы в самонастраивающейся системе автоматического регулирования с моделью. Рассмотрим принцип управления, реализуемый такой системой, ее структуру, алгоритм работы и особенности его адаптации к переменным условиям эксплуатации двигателя.

Структурная схема самонастраивающейся системы содержит основной замкнутый контур с регулированием состава смеси по величине парциального давления кислорода в отработавших газах; каналы регулирования состава смеси по возмущениям; модель, на входы которой поступают сигналы датчиков возмущений (режима работы двигателя и параметров окружающей среды); контур самонастройки. Объектом управления в рассматриваемом случае служит часть рабочего процесса двигателя, включающая в себя процесс наполнения

Регулируемой величиной является состав смеси в цилиндрах двигателя, в связи с чем возмущающим воздействием на объект управления оказывается изменение количества окислителя в цилиндре двигателя. В

свою очередь, изменение этой величины определяется режимом работы двигателя, его техническим состоянием, регулировками системы газообмена и параметрами окружающей среды.

Алгоритм работы контура самонастройки заключается в слежении за величиной содержания парциального давления кислорода и подстройке матрицы коэффициентов, определяющих коррекцию дозирования топлива на неустановившихся режимах работы.

Модель в самонастраивающейся системы в общем случае представляет собой реализованное в виде программного модуля звено (систему в целом, какую-либо ее часть или объект управления) с такими динамическими свойствами, которые хотелось бы иметь в реальной системе управления.

Для реализации управления двигателем по модели была разработана методика формирования моделей коэффициентов наполнения на режимах ездового цикла. Отдельные особенности наполнения двигателя на неустановившихся режимах, которые свидетельствуют о необходимости использования моделей, представлены ниже.

На рис. 3 показана зависимость коэффициента наполнения от момента открытия дроссельной заслонки по углу ПКВ, на рис. 4 - зависимость коэффициента наполнения от порядкового номера цикла.

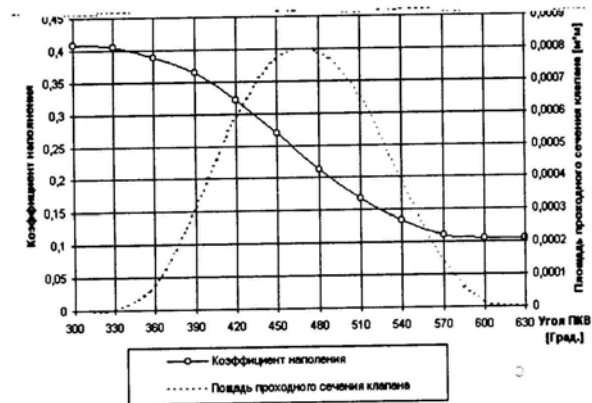


Рис. 3

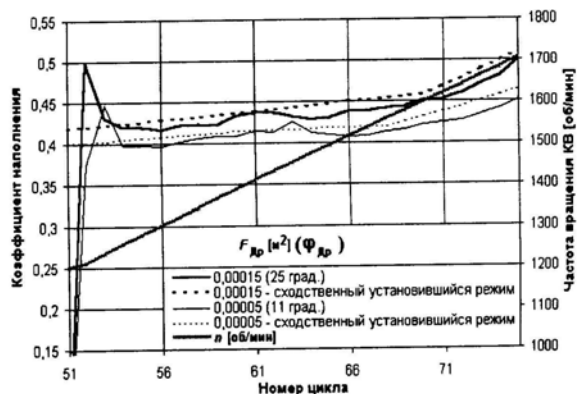


Рис. 4

Моделирование производилось путём имитации разгона по первой фазе Европейского ездового цикла [3]. Начальное положение дроссельной заслонки соответствовало значению холостого хода, положение дросселя в процессе разгона - согласно режимной карте цикла для данного типа двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. - М.: Наука, 1975.-768 с.
2. Борисов А.О., Рудой Б.П., Утляков С.Г. Управление автомобильным двигателем по модели // Современный автомобиль: управление и материалы: Матер. междунар. научн.-практ. сем. Тольятти-Самара, 1995. – С.10-11.
3. Борисов А.О., Пенкин Д.В. Модель САУ двигателем внутреннего сгорания на режимах ездового цикла // Двигатель-97: Матер. междунар. научн.-техн. конф., Москва, МГТУ им. Баумана, 1977. – С.85-87.