

62-621.2; 62-843.3; 62-833.4

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМ ГАЗОПОДАЧИ

инж. О.Б. ТИХОМИРОВА, канд.техн.наук. А.Н.ТИХОМИРОВ

Рассмотрены вопросы питания газообразным топливом современных двигателей внутреннего сгорания, оснащенных электронными системами. Проведен анализ существующих систем газоподачи, выявлены их недостатки и преимущества, и предложена схема подачи газа, обеспечивающая высокий уровень быстродействия, надежности, точности дозирования и удовлетворяющая строгим экологическим и мощностным требованиям.

Автомобильный транспорт относят к числу наиболее крупных потребителей ряда важнейших ресурсов: на его долю приходится 66% потребляемого топлива. Обострение топливно-энергетического кризиса вызывает повышенный интерес к альтернативным видам топлива, как в нашей стране, так и за рубежом. Потенциальными заменителями жидкого моторного топлива нефтяного происхождения могут быть водород, аммиак, спирты, эфиры, природный и нефтяной газы и даже масла растительного происхождения. Используют и синтетические топлива, полученные из угля и горючих сланцев. Однако их применение связано пока с большими капитальными затратами.

Наибольшее распространение в качестве альтернативного топлива получили сжиженный нефтяной газ (СНГ), компримированный природный газ (КПГ) и сжиженный природный газ (СПГ). Потенциальные экономические и экологические показатели газа как моторного топлива превосходят все аналоги. Кроме того, ресурсы СНГ и КПГ в нашей стране достаточны для удовлетворения всех народно-хозяйственных и социальных потребностей.

При использовании в двигателях внутреннего сгорания нерешенными остаются ключевые вопросы смесеобразования, распределения и воспламенения газозоудшной смеси.

По принципу работы, применяемые в настоящее время газовые системы топливоподачи можно разделить на четыре поколения:

1-ое поколение. Механические системы с вакуумным управлением на бензиновые карбюраторные автомобили;

2-ое поколение. Механические системы, дополненные электронным дозирующим устройством, работающим по принципу обратной связи с датчиком содержания кислорода. Они устанавливаются на автомобили, оснащенные каталитическим нейтрализатором отработавших газов;

3-ье поколение. Системы, обеспечивающие распределенную непрерывную подачу газа с дозатором-распределителем, который управляется электронным блоком. Газ подается во впускной коллектор с помощью механических форсунок, которые открываются за счет избыточного давления в магистрали подачи газа.

4-ое поколение. Системы распределенного фазированного впрыска с электромагнитными форсунками, которые управляются более совершенным электронным блоком. Как в системе предыдущего поколения газовые форсунки устанавливаются на коллекторе непосредственно у впускного клапана каждого цилиндра.

Для реализации потенциальных возможностей газового топлива необходимо приблизить реальные характеристики приготовляемой смеси к оптимальным регулируемым и добиться высокой степени однородности смеси для всего многообразия режимов.

Под "оптимальной" в настоящее время рассматривается регулировка, обеспечивающая минимальную токсичность отработавших газов, что возможно лишь при использовании трехкомпонентной системы нейтрализации отработавших газов. Для обеспечения работы нейтрализатора состав смеси, отслеживаемый кислородным датчиком (λ -зондом), поддерживается на всех основных режимах максимально близко к $\alpha=1$.

В такой системе требования к точности дозирования газа столь высоки, что без электронного управления обойтись уже невозможно. Однако любые системы электронного управления опираются на некую базовую схему, задающую основной расход. Подача газа должна быть, прежде всего, согласована с расходом воздуха, изменяющимся на входе в двигатель в очень широких пределах.

Серьезной проблемой эксплуатации эжекционных систем первого и второго поколений на двигателях с впрыском бензина является наличие во впускном тракте ресивера большого объема (до 3-х л.), наполненного газо-воздушной смесью, которая имеет вероятность самопроизвольного воспламенения от отработавших газов, частично забрасываемых в систему впуска в период перекрытия клапанов. Подобные вспышки имели место и на карбюраторных двигателях, но сгорание такого количества смеси, как здесь, вызывает ударную волну, разрушающую элементы впускного тракта (термоанемометр, воздушный фильтр, патрубки). Это позволяет утверждать, что использование систем

газоподачи с центральным смесителем на двигателях с распределенным впрыском недопустимо.

Дискретные системы топливоподачи с электромагнитными форсунками (ЭМФ) стали в бензиновых двигателях сегодняшнего дня идеальным исполнительным элементом с высоким уровнем быстродействия, точностью дозирования топлива и обеспечением идентичного состава смеси по цилиндрам на всех режимах работы двигателя. Применение электронно-управляемых систем впрыска бензина с подачей топлива через ЭМФ позволяет контролировать текущий состав смеси в широких пределах с высокой точностью и практически мгновенно. Цикловой расход топлива через форсунку в зависимости от длительности ее открытого состояния изменяется в 4...5 раз. А если учесть, что кратность частоты вращения вала двигателя, с которой синхронизирована работа ЭМФ равна 5...6, то изменение часового расхода топлива составит примерно 30 крат. На сегодняшний день мы не знаем другого исполнительного устройства, способного работать в таких диапазонах с высокой быстротой и точностью дозирования. Именно это свойство ЭМФ – возможность изменять расход топлива в широких пределах за время одного цикла – зачастую предопределяет путь большинства исследователей, стремящихся создать аналогичную газовую систему питания (рис. 1). К достоинствам этого варианта следует отнести в достаточной степени изученные алгоритмы управления. Однако серьезным препятствием реализации является необходимость специальной электромагнитной форсунки для работы на газе.

Количество подаваемого топлива через форсунку определяется только временем ее открытого состояния при постоянных значениях перепада давлений ($\Delta P=3$ бар для большинства современных бензиновых систем) и проходного сечения канала форсунки. При максимальных частотах вращения ($n \approx 6000 \text{ мин}^{-1}$) период открытия форсунки при фазированном впрыске (срабатывания 1 раз за два оборота коленчатого вала) составляет максимум 20 мс. За этот период должны осуществиться цикловая подача топлива и закрытие форсунки хотя бы на незначительное время. Цикловая подача необходимая для обеспечения мощностных показателей двигателя должна меняться от ≈ 1 кг/ч на режиме холостого хода до ≈ 30 кг/ч на режимах максимальной мощности. На эти условия и рассчитаны бензиновые форсунки. Для газовых топлив массовый расход должен оставаться примерно в тех же пределах. Но плотность бензина составляет 740 кг/м^3 , а газов: нефтяного сжиженного при давлении в 3 бара – 7 кг/м^3 ; природного сжатого при давлении в системе 5 бар – $3,5 \text{ кг/м}^3$, что соответственно в 100 и 200 раз меньше, чем у

бензина. Следовательно, для обеспечения работы топливной системы в соответствующее количество раз необходимо или увеличивать проходное сечение форсунки и ее рабочий ход или изменять давление на входе, или, что и пытаются осуществить, менять и давление и сечение. Однако резервы увеличения этих параметров ограничены и не могут довести систему до уровня бензинового аналога.

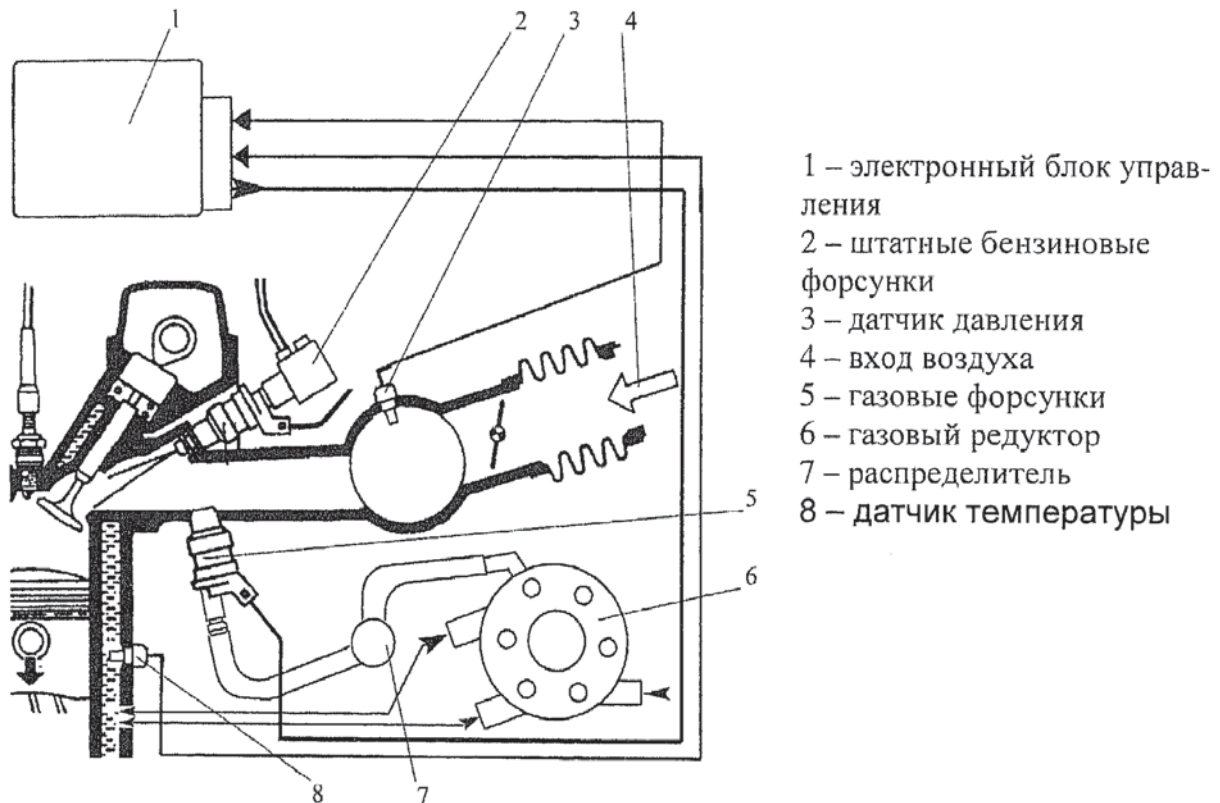


Рис.1 Система газоподдачи с электромагнитными форсунками

Увеличение размеров и массы системы связаны с долговечностью и надежностью форсунки, с уровнем шума, излучаемого ими. Это весьма критично при удовлетворении требований современных международных стандартов. Повышение перепада давлений однозначно ведет к уменьшению возможного пробега, так как в этом случае в газовом баллоне остается недоиспользуемое топливо, обеспечивающее необходимое давление для работоспособности системы (это справедливо для систем сжатого газа). Максимальный пробег на сжатом природном газе и так составляет порядка 200 км, поэтому эксплуатационные потери при ограничении минимальных давлений будут очень существенны.

Другим авантюрным вариантом при стремлении использования ЭМФ является сужение возможных комбинаций мощностных и скоростных режимов. Он заключается в ограничении максимальной цикловой подачи, исходя из того, что сочетание максимальной нагрузки и максимальной частоты вращения коленчатого вала в эксплуатации не используются. Это, конечно, исключение, но это показывает, что слепое копирование бензиновых вариантов систем для газового топлива встречает серьезные ограничения.

Немаловажно и то, что геометрически разместить комплект газовых форсунок на двигателе уже имеющем комплект бензиновых, сложно, и это вынуждает конструкторов прибегать к половинчатым решениям – форсунки располагают отдельно, а на впускной трубе устанавливаются небольшие распылители, соединенные с форсунками шлангами. Паразитный объем шлангов сводит на нет некоторые преимущества дискретного ввода, а именно, возможность резкого изменения цикловой дозы уже в следующем цикле.

Таким образом, следует признать, что вариант использования дискретного дозирования газа с использованием ЭМФ технически пока может быть реализован только на двигателях относительно малого рабочего объема. Среди разработчиков газовых систем питания единства мнений в плане того, какой исполнительный орган выбрать, пока нет. Ни один из существующих принципов газоподдачи не в состоянии удовлетворить требованиям завтрашнего дня в полной мере. Созданные на сегодня электромагнитные форсунки для подачи газа (особенно сжатого) не обеспечивают требуемых объемных цикловых подач, имеют большой ход якоря и, как следствие, малое быстродействие и высокие ударные нагрузки. Чаще подачу газа через электромагнитные форсунки можно встретить на относительно тихоходных двигателях. Здесь следует отметить намечающуюся мировую тенденцию более масштабного использования газовых топлив на больших двигателях, например, автобусов.

Перечисленные недостатки можно избежать, если реализовать одновременно возможности, заложенные в системах дозирования с непрерывной подачей газа (относительную простоту и отсутствие ограничений по расходу) и дискретных системах (разделение управляющих сигналов по нагрузке и частоте), достигая при простых конструктивных решениях распределенную подачу газа с высоким быстродействием.

Система при этом имеет разветвленную структуру (рис.2). Давление газа перед дозирующим узлом изменяется в зависимости от нагрузки (давления во впускной трубе), а сечение дозатора, имеющего привод от стандартного шагового мотора, меняется в

зависимости от частоты вращения двигателя. При этом осуществляется полное разделение управления по нагрузке и частоте, как это выполнено в дискретных системах.

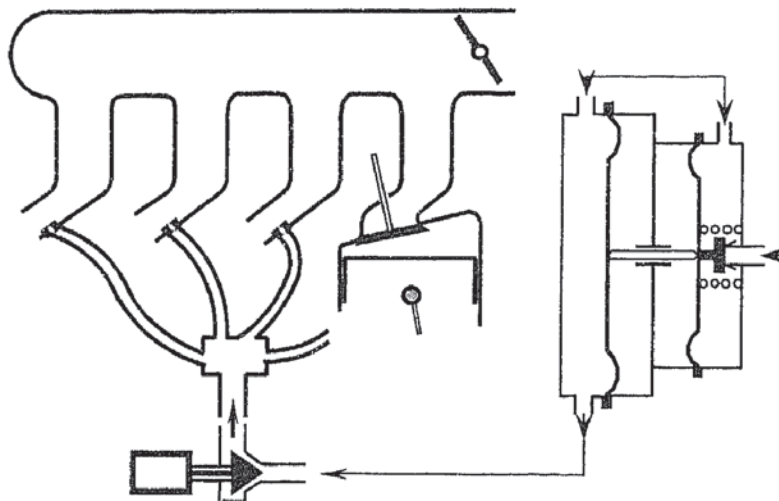


Рис.2 Система непрерывной подачи газа с электроуправляемым дозатором

Увеличение расхода по скоростной характеристике обеспечивается изменением проходного сечения дозатора, приводимого стандартным шаговым мотором. Невысокая кратность расхода газа по частоте (около 6) позволяет при малом числе шагов мотора достигать высокой точности расходов. В то же время скорость изменения именно частоты вращения примерно соответствует скорости изменения положения сердечника шагового мотора. Гораздо более высокая требуемая скорость изменения расхода газа по нагрузке обеспечивается редуктором-регулятором, путем перемены давления. Основным элементом системы становится редуктор-регулятор, создающий определенное переменное давление на выходе. Получено выражение зависимости величины давления газа на выходе из редуктора-регулятора в зависимости от управляющего давления и конструктивных параметров редуцирующей системы. Выявлены основные элементы, определяющие расходные характеристики представленной схемы. Проведен выбор величин давлений газа. Результирующее суммарное регулирование выходного давления и сечения дозатора обеспечивает изменение расхода газа в соответствии с текущим режимом работы двигателя.