

УДК 621.433.038.8

*Г.А. Щербаков, инж., С.Б. Сафонов, инж., Н.А. Шевченко, инж.,
А.М. Левтеров, канд. техн. наук, В.П. Мараховский, инж., А.А. Кайдалов, инж.*

ГИДРОУПРАВЛЯЕМАЯ ФОРСУНКА ДЛЯ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВНУТРЕННИМ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕМ

Введение

Конвертация дизелей в газовые двигатели или газодизели, как правило, проводится при организации рабочего процесса с внешним смесеобразованием с использованием серийно выпускаемой газовой аппаратуры [1, 2]. Газовые двигатели с внутренним смесеобразованием и форкамерно-факельным воспламенением более эффективны и экономичны за счёт использования качественного регулирования, расширения пределов обеднения до $\alpha = 3,5$ и более, низким содержанием вредных выбросов в отработавших газах, но значительно усложняется конструкция их систем питания и регулирования [3].

В последние годы появились газовые двигатели с микропроцессорным управлением и подачей топлива электромагнитным клапаном, причём подача топлива (природного газа) осуществляется на такте впуска во впускной коллектор и имеет недостатки внешнего смесеобразования за исключением равномерности подачи газа по цилиндрам. Стоимость таких систем от 5 до 8 тыс. долларов США.

Реализовать все преимущества внутреннего смесеобразования при конвертации дизеля в газовый двигатель или газодизель с подачей газа непосредственно в цилиндр двигателя на такте сжатия, особенно для двухтактных двигателей, можно с помощью газовой форсунки, управляемой штатным топливным насосом высокого давления (ТНВД) [4].

Целью настоящей работы является доводка конструкции и исследование характеристик газовой форсунки в условиях безмоторного стенда.

Гидравлическая газовая форсунка

При конвертации дизельного двигателя в газовый сохраняется система топливоподачи, которая

используется как система гидроуправления с небольшим запасом нерасходуемого дизельного топлива. Газовая форсунка устанавливается вместо дизельной форсунки и производятся соответствующие регулировки по началу подачи газового топлива. Дополнительно монтируется система зажигания и устанавливаются свечи зажигания.

Особенности конструкции газовой форсунки

На рис. 1 приведен общий вид газовой форсунки, которая состоит из корпуса 1, в котором установлен клапан 2. Подвод газообразного топлива обеспечивается через штуцер 3, а гидравлический привод клапана (дизельное топливо) - через штуцер 4 к золотнику 5, который обеспечивает постоянную величину хода клапана. Расход газа определяется продолжительностью топливоподачи, а на частичных режимах и величиной хода клапана.

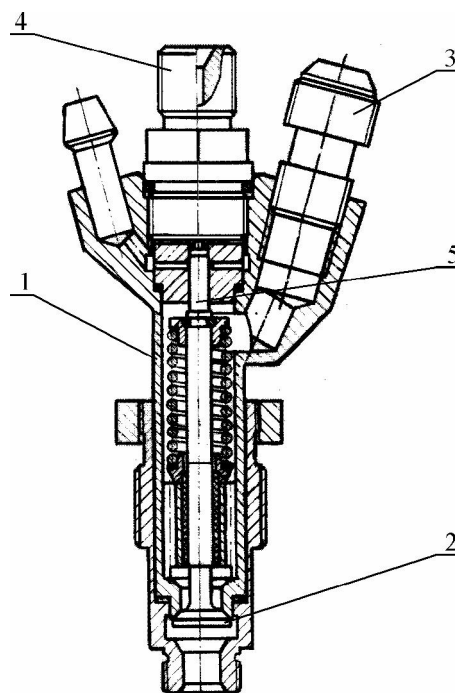


Рис. 1. Газовая форсунка

Исследования газовой форсунки на безмоторном стенде

Экспериментальный безмоторный стенд

На рис. 2 представлена схема лабораторного стенда для безмоторных испытаний.

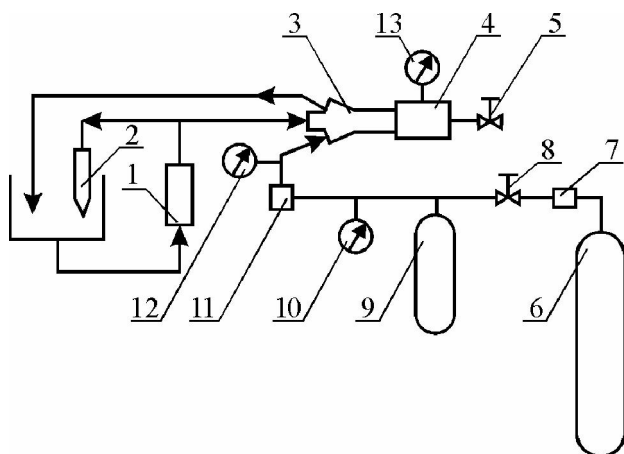


Рис. 2. Схема испытательного стенда:

1 - топливный насос; 2 - дроссельная форсунка; 3 - газовая форсунка; 4 - камера; 5, 8 - вентили; 6 - баллон с воздухом; 7 - редуктор высокого давления; 9 - расходный баллон; 10, 12, 13 - манометры; 11 - редуктор низкого давления

В качестве топливного насоса 1 используется насос двигателя ТД. Нагнетающий штуцер насоса соединён с газовой форсункой 3 и параллельно - с дроссельной форсункой 2. Дроссельная форсунка предназначена для регулировки давления в гидроприводе и стравливания избыточной части топлива, подаваемого от ТНВД. Питание форсунки газом осуществляется с помощью воздушного баллона 6. Баллон 9 служит для измерения расхода газа через форсунку. Для обеспечения противодействия на выходе из форсунки (имитирующее давление в цилиндре) служит камера 4 с дроссельным вентиляем 5 и манометром 13. Регулировкой вентиля можно с достаточной точностью получить совпадение давления в камере, соответствующее таковому в камере сгорания двигателя, что позволяет приблизить усло-

вия впрыска при безмоторных испытаниях к условиям в реальном двигателе. Для регистрации хода газового клапана в газовую форсунку был установлен специальный датчик (на рисунке не показан).

Задачи исследований

Целью исследований являлось определение возможностей работы газовой форсунки с гидроприводом от насоса двигателя ТД, оценка влияния на качество её функционирования различных параметров (частоты вращения кулачкового вала ТНВД и профиля кулачка, величины затяжки пружины дроссельной форсунки, диаметра и длины золотника, размеров трубопроводов высокого давления), выбор оптимальных условий и снятие расходных характеристик. При этом необходимым условием было ограничение времени открытия газового клапана в пределах 400 п.к.в. при 1500 мин^{-1} и обеспечение максимального расхода газа.

Результаты исследований

На рис. 3 представлены осциллограммы открытия газового клапана при различных параметрах с указанием длительности открытия форсунки и объёмного расхода воздуха. При этом давление воздуха перед форсункой и давление в камере оставалось постоянным и составляло соответственно 0,8 МПа и 0,25 МПа.

Вид осциллограмм подъёма клапана газовой форсунки указывает на наличие в гидравлическом тракте волнового процесса. Волновой характер определяется соотношением указанных выше величин (скорость плунжера, ход золотника, давление открытия дроссельной форсунки, жёсткость пружины газового клапана), а также параметрами трубопровода и величиной объёма гидравлического тракта.

Уменьшение длины и диаметра трубопровода приводит к уменьшению интегральной величины (время - сечение) открытия газового клапана.

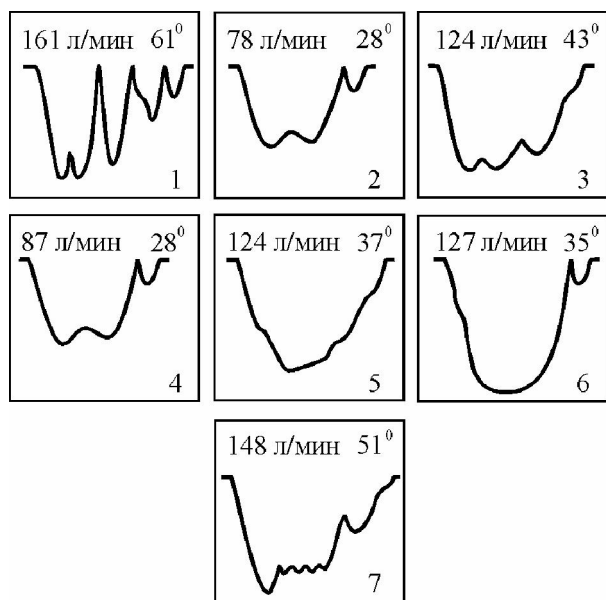


Рис. 3. Осциллограммы подъёма клапана газовой форсунки (по № эксперимента)

Постановка аккумулятора давления в гидравлическом тракте (объём ~ 20 см³) позволяет снизить амплитуду импульса давления, действующего на золотник, даже при максимальной скорости плунжера (2,04 м/с), что позволяет ограничить максимальный ход штока газового клапана. Рост расхода газа сопровождается существенным увеличением продолжительности его подачи, что обусловлено неоднократным ходом клапана до закрытия за период одного цикла (осциллограмма 1).

Большая скорость нагнетания топлива приводит к увеличению подъёма штока клапана, что ограничивает величину активного хода плунжера насоса и уменьшает расход газа через форсунку. Наилучшие результаты для золотника Ø3,5 мм достигнуты при скорости плунжера 0,35...0,41 м/с (осциллограммы № 5, 6).

Увеличение хода золотника от 0,9 мм до 1,4 мм (до открытия дренажных каналов) привело к некоторому увеличению расхода газа (осциллограммы № 2, 4) и уменьшению продолжительности его подачи (осциллограммы № 3, 5).

Уровень давления открытия дроссельной форсунки определяет количество топлива, перепускаемого через золотник и, следовательно, величину его хода и продолжительность открытия газового клапана. Уменьшение давления открытия дроссельной форсунки (p_o) вызывает уменьшение расхода газа (Q_f) и продолжительности его подачи (α_f) (осциллограммы № 2, 3 и 4, 5). Наилучший результат получен при $p_o = 5$ МПа для скорости плунжера 0,35 м/с и $p_o = 2,5$ МПа для скорости плунжера 0,41 м/с.

Увеличение P_o либо установка жиклёра в дроссельную форсунку приводит к недопустимому увеличению хода штока газового клапана.

Необходимо отметить, что наличие в системе гидропривода дроссельной форсунки усложняет конструкцию.

Таким образом, ни один вариант комплектации гидравлического тракта управления газовой форсунки с золотником диаметром 3,5 мм не обеспечивает требуемого расхода газа (~ 230 л/мин. в течение ~ 40 град. п.к.в.). Кроме того, зависимость расхода газа от работы дроссельной форсунки усложняет конструкцию, регулировку аппаратуры и уменьшает надёжность системы.

Постановка золотника диаметром 6,0 мм позволила исключить дроссельную форсунку. Приемлемые значения максимального хода штока газового клапана получены при:

- скорости плунжера 0,55 м/с;
- ходе золотника до открытия дренажных каналов 1,0...1,2 мм.

Используемый кулачковый вал привода имеет профиль с возрастанием скорости движения плунжера при увеличении его активного хода. Это не позволило эффективно увеличить расход газа путём увеличения производительности насоса из-за возникновения интенсивных колебаний штока клапана (осциллограмма 7).

При существенной затяжке пружины газового

клапана и давления воздуха перед форсункой 0,8 МПа клапан начинает открываться при давлении топлива p_t , действующего на золотник диаметром 6,0 мм $p_t \approx 1,8$ МПа, что находится на уровне остаточного давления в трубопроводе. При увеличении диаметра золотника необходимо уменьшать и остаточное давление в трубопроводе. Невысокое давление топлива для открытия газового клапана, при отсутствии дроссельной форсунки, приводит к обеспечению расхода газа ~ 80 л/мин. уже при активном ходе поршня $h_{n.a.} = 0$.

На рис. 4 представлена зависимость расхода газа Q_Γ и продолжительность его подачи α_Γ от величины выхода рейки топливного насоса h_y . Из рисунка видно, что расход газа и продолжительность его подачи нелинейно увеличиваются с увеличением активного хода плунжера за счёт выхода рейки топливного насоса. При продолжительности подачи, ограниченной 40 град. п.к.в., достигнута производительность газовой форсунки 130 л/мин. Дальнейшее увеличение производительности форсунки возможно при модернизации топливорегулирующей аппаратуры (кулачковый вал, золотник).

Заключение

Таким образом, в результате проведенного комплекса доводочных испытаний выбраны рациональные конструктивные и регулировочные параметры для эффективной работы газовой форсунки, в результате чего обеспечивается её использование при конвертации дизелей типа ТД на газовое топливо.

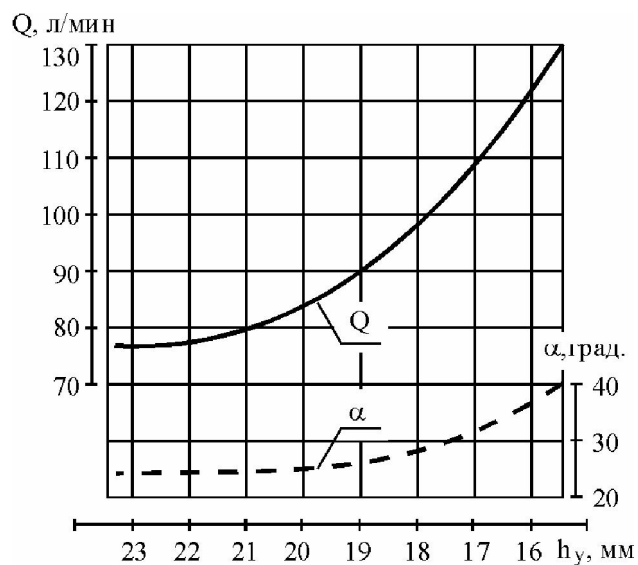


Рис. 4. Регуляторная характеристика

Список литературы:

1. Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. – М.: МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.
2. Бганцев В.Н., Левтеров А.М., Мараховский В.П. Газовый двигатель на базе четырёхтактного дизеля общего назначения // Мир техники и технологий: Междунар. техн. ж-л. – 2003. – № 10. – С. 74 – 75.
3. Генкин К.И. Газовые двигатели. – М.: Машиностроение, 1977. – 196 с.
4. Разработка методов конвертации двигателей внутреннего сгорания на альтернативные топлива / Н.К. Рязанцев, В.М. Григорьев, А.П. Кудряш, В.П. Мараховский, П.Я. Перерва, А.А. Кайдалов // Технологические системы. – 2000. – № 4(6). – С. 8 – 10.