

А.В.Белогуб, С.М.Вчерашний

## ФОРСУНКА ПОДАЧИ ЛЕГКОГО ТОПЛИВА С ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ АКТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ДЛЯ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЛЕГКОМОТОРНОЙ АВИАЦИИ

## Р е ф е р а т

В статье рассмотрена возможность создания форсунки с пьезоэлектрическим активным элементом для дозированной подачи легкого топлива (бензина) в двухтактный поршневой двигатель внутреннего сгорания. Приведены конструкции двух вариантов форсунки, методика и результаты испытаний активного элемента.

## Предпосылки использования пьезоэлектрического активного элемента

В настоящее время для дозирования и подачи бензина в поршневом двигателе с принудительным воспламенением широко применяют электромагнитные форсунки. Такие форсунки различных конструкций выпускаются с 1957 года (фирмы "Бендикс Авиэйшин", "Бош", "Лукас" и др.). Дозирование топлива электромагнитными форсунками базируется на изменении длительности открытого состояния управляемого электромагнитного клапана. Цикловая подача определяется временем истечения топлива через клапан; сечением его в открытом состоянии и перепадом давления на клапане. При прочих равных условиях цикловая подача зависит только от времени открытого состояния, что благоприятно влияет на создание систем управления двигателем т.к. нет необходимости в учете влияния переменного сечения клапана в процессах открытия и закрытия. В электромагнитных форсунках время перелета клапана зависит не только от массы непосредственно клапана, но и от того, что магнитный поток достигает своего максимального значения не мгновенно при включении форсунки и спадает так же не мгновенно внося в работу клапана систематический сдвиг по фазам открытия и закрытия. Это явление учитывается в системах управления. Разработка форсунки с пьезоэлектрическим активным элементом должна обладать меньшей инерционностью, обусловленной только влиянием инерционных масс.

Использование пьезоэлектрического активного элемента затруднено ввиду абсолютной малости изменения размера при приложении



напряжения и тенденции к стеканию заряда т.е. к ограничениям связанным со временем деформированного состояния при неизменном напряжении.

Двигатель, для которого предназначена форсунка; расчет расхода топлива и проходных сечений форсунки

Объектом для использования форсунки (в составе системы питания), является двухтактный двухцилиндровый оппозитный двигатель "Вулкан" разработки ХАИ-МП "Радуга" комплектующийся в настоящее время карбюратором двигателя ИЖ-П "Спорт". При этом расход топлива, по утверждению авторов, достигает  $g_e = 400-450$  г/кВт·ч (300-320 г/л.с.час), что не отвечает современным требованиям к поршневым двигателям. Разработка и установка системы питания действующей по принципу "нужное количество топлива в нужное место и в нужное время" позволит исключить потери топлива при продувке и снизить расход до  $g_e = 290-300$  г/кВт.час.

Расчет цикловой подачи и проходного сечения клапана форсунки выполнен для следующей схемы подачи топлива:

1. Подача топлива производится один раз за один цикл (360° п.в.в.).

2. Длительность подачи составляет 90° п.к.в. Наибольшее время-сечение очевидно будет соответствовать режиму максимальной мощности, для данного двигателя  $N_e = 60$  кВт при  $n = 5000$  мин<sup>-1</sup>. Учитывая, что примерный расход топлива составляет 0.3 кг/кВт.час легко вычислить цикловую подачу топлива одной форсунки:

$$G_{ц} = \frac{g_e \cdot N_e}{i \cdot n \cdot 60} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ кг};$$

где  $i$  - число цилиндров.

Время открытого состояния клапана:

$$\tau_{ц} = \frac{\varphi \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ сек};$$

статическая производительность форсунки:

$$g_0 = \frac{G_{ц}}{\tau_{ц}} = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/сек};$$

эффективное проходное сечение форсунки:

$$m_f = \frac{g_0}{\sqrt{2 \rho \Delta p}};$$



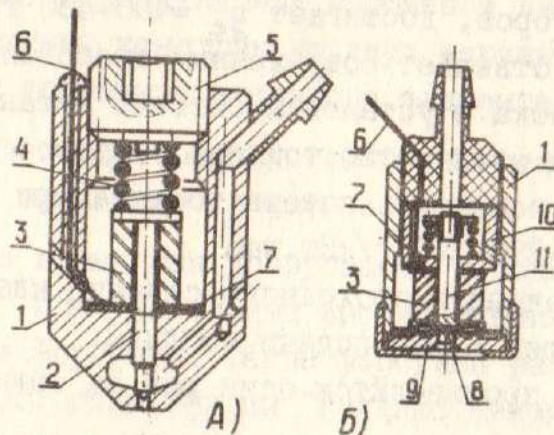
где:  $\rho$  - плотность топлива,  
 $\Delta p$  - перепад давления на клапане.

При перепаде давления на форсунке 0.05 МПа  $m_f = 0,83 \text{ мм}^2$ ,  
 при перепаде давления - 0.1 МПа  $m_f = 0.59 \text{ мм}^2$ .

По данным ЦНИТА повышение перепада давления на клапане выше 0.05-0.1 МПа нецелесообразно, ввиду больших нагрузок на подкачивающий узел и малого влияния на характеристики распыла.

### Конструкция форсунки

На рис. 1 приведены два варианта конструкций, разработанных на кафедре.



Вариант а) представляет собой форсунку с игольчатым клапаном 2. Уплотнение осуществляется по коническому седлу выполненному в корпусе форсунки 1. Активный элемент 3 состоящий из набора пьезокерамических шайб нагружен пружиной 4, усилие затяжки которой можно регулировать с помощью винта 5. Эта же пружина обеспечивает плотную посадку иглы 2 в седло. Под воздействием электрического импульса, подающегося через проводник 6 залитый в корпусе, активный элемент расширяется и поднимает иглу. Эта форсунка имеет дренажное отверстие (не показано). Достоинством указанной конструкции является небольшое число деталей. К недостаткам можно отнести необходимость организации слива топлива из дренажного отверстия и повышенные требования к точности обработки деталей форсунки. Обеспечение зазора между тарелкой иглы и торцом активного элемента необходимого для надежного закрытия отверстия клапана осуществляется подбором толщины шайбы 7, являющейся одновременно изолятором.

Вариант б) представляет собой форсунку с плоским лепестковым клапаном 8, прижат к седлу 9 силой давления топлива, в топливоподводящей магистрали. Активный элемент 3 прижат к опоре 10 пружиной 4 через тарелку и толкатель 11. На седле 9 выполнен кольцевой



выступ, на который опираются лепестки 12 клапана 8. На толкателе II также выполнен кольцевой выступ большего чем на седле диаметра. При подаче напряжения активный элемент расширяется, воздействует на лепестки 9 клапана 8, лепестки прогибаются и клапан поднимается открывая отверстие седла. Лепестки клапана выполнены под углом к радиусу клапана для закрутки потока топлива на входе в распылитель. Разработанная конструкция позволяет при малых ходах активного элемента 3 (30 мм) получить достаточный ход клапана. Постоянство проходного сечения (расхода), в открытом состоянии клапана достигается тем, что клапан упирается в толкатель и, промежуточных положений не занимает. Подстройка форсунки на заданный статический расход осуществляется перемещением основания 10 в корпусе I. При работе форсунка заполнена топливом под давлением подкачивающего насоса и дренажа не требует.

Форсунка б) ввиду того, что клапан имеет усилитель по перемещению (относительно перемещения активного элемента) имеет в активном элементе меньше пьезокерамических шайб и общий меньший размер.

#### Методика испытаний активного элемента и результаты испытаний

В качестве активного элемента были выбраны пьезокерамические кольца из титаната бария  $D = 8$ ,  $d = 3$ ,  $s = 1$  серебрянные по плоскостям и применяющиеся для изготовления первичных вибропреобразователей. Стопка таких шайб была укреплена на жесткой пластине и к торцам стопки подводилось импульсное напряжение. Изменение высоты стопки (деформация) измерялась по прогибу балки равного сопротивления, контролируемому наклеившими на нее терморезисторами. При приложении напряжения в 50 В деформация стопки из 10 шайб составляет 120 мкм. При подаче напряжения в 200 В шайбы разрушились.

#### Выводы и перспективы

Проведение испытания титанат-бариевых пьезокерамических элементов показало возможность использования их в качестве активного элемента для открытия клапанов форсунок. Разработанные варианты форсунок применимы для систем питания поршневых двухтактных двигателей легкомоторной авиации, т.к. активный пьезокерамический элемент легко адаптируется в любую систему с электронным управлением. Перспективы использования пьезоэлектрических форсунок в первую очередь связаны с оценкой их общей надежности, работоспособ-



ности и стабильности показателей, над чем авторы предполагают работать в дальнейшем.

#### Л и т е р а т у р а

1. Electronic Fuel Injection Device. Пат. 4821726 США. Tamura Hiroshi, Hiromasa Shonichiro, Kondo Toshio; Nippondenso Co., Ltd. - опубл. 18.04.89.
2. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара. Справочник. Под ред. В.В.Клюева.- М.5 Машиностроение, 1978. - 448 с., ил.