

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПЬЕЗОПРИВОДА ФОРСУНКИ

У статті розглянута проблема визначення величини переміщення п'єзопривода форсунки по амплітуді вихідного сигналу. За допомогою експериментальних досліджень визначена амплітуда вихідного сигналу. Визначена залежність величини переміщення п'єзоелемента п'єзопривода від амплітуди вихідного сигналу.

В статье рассмотрена проблема определения величины перемещения пьезопривода форсунки по амплитуде выходного сигнала. При помощи экспериментальных исследований определена амплитуда выходного сигнала. Определена зависимость величины перемещения пьезоэлемента пьезопривода от амплитуды выходного сигнала.

ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Повышение экологических требований, предъявляемых к двигателям внутреннего сгорания, требует работки и усовершенствования систем двигателя. По количеству выбрасываемых в атмосферу вредных веществ двигатели внутреннего сгорания с системой впрыска типа "CommonRail", в которой для впрыска используются пьезофорсунки, являются наиболее современными.

В типичных двигателях впускные, выпускные клапана открываются механически, в двигателях с системой впрыска типа CommonRail впускные, выпускные клапана открываются при помощи электрического сигнала. В качестве впускных клапанов используются пьезофорсунки, для выпуска отработанных газов – соленоиды.

В процессе работы двигателя происходит загрязнение иглы пьезофорсунки, что приводит к залипанию клапана пьезофорсунки. При залипании клапана пьезофорсунки в открытом состоянии происходит постоянная подача топлива в цилиндр, что может привести к разрушению двигателя.

Контроль перемещения выпускных клапанов выполняется по величине сопротивления катушки соленоида, которое увеличивается при открытии форсунки и уменьшается при закрытии [6]. Контроль перемещения иглы пьезофорсунки осуществляется способом, указанным в [1], который заключается в измерении амплитуды $U_{\text{вых}}$ сигнала, снимаемого с выходных электродов пьезопривода [2].

При длительной эксплуатации пьезофорсунок происходит старение пьезоэлементов пьезопривода, отрыв электродов от пьезоэлементов, ухудшение характеристик пьезоэлементов, что приводит к уменьшению величины перемещения иглы пьезофорсунки. Следствием залипания иглы пьезофорсунки и уменьшения величины перемещения иглы пьезофорсунки является подача в цилиндры двигателя недостаточного количества топлива. Таким образом, при контроле наличия перемещения способом, указанным в [1], возникает задача определения величины перемещения.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ АНАЛОГОВ

Пьезопривод форсунки осуществляет перемещение X_2 на величину порядка 100 мкм. Таким образом, задача определения величины перемещения пьезопривода аналогична задаче измерения микроперемещений и деформаций.

Измерение микроперемещений при помощи лазерного интерферометра является самым точным. Его

принцип действия основан на явлении интерференции. Лазерный интерферометр позволяет измерять микроперемещения до 0,1 длины волны, что соответствует 0,05 микрометрам. Таким образом, основным достоинством измерения микроперемещения при помощи лазерного интерферометра является возможность измерять перемещения с высокой точностью.

Недостатком измерения микроперемещений при помощи лазерного интерферометра является сложность конструкции измерительного преобразователя и отсутствие возможности измерять перемещения вне лабораторных условий.

Ёмкостной метод определения микроперемещений основан на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров, взаимного расположения его обкладок и от диэлектрической проницаемости среды между ними. Данный метод позволяет измерять перемещения порядка 1,5 мкм.

Принцип действия измерения микроперемещений индуктивным способом основан на зависимости индуктивности или взаимной индуктивности обмоток на магнитопроводе от положения, геометрических размеров и магнитного состояния элементов их магнитной цепи. Измерение перемещений индуктивным методом позволяет измерять перемещения величиной порядка 5 мкм. Недостатком индуктивного метода определения величины перемещения является необходимость внесения в объект перемещения катушки индуктивности.

Наиболее подходящим для измерения микроперемещений пьезопривода форсунки является способ, который заключается в присоединении к пьезоприводу форсунки тензорезистора. Данный способ основан на изменении величины сопротивления тензорезистора от перемещения.

Общим недостатком перечисленных способов измерения микроперемещений пьезопривода форсунки является необходимость вносить в конструкцию пьезофорсунки дополнительные датчики, присоединение которых изменяет частотные и переходные характеристики пьезопривода форсунки, а также увеличивает габаритные размеры.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Измерение микроперемещений осуществляется способом, описанным в [1], который заключается в определении величины перемещения X_2 пьезопривода форсунки по амплитуде $U_{\text{вых}}$ сигнала, снимаемого с выходных электродов пьезопривода форсунки рис. 1.

При помощи экспериментальных исследований [7] определено, что амплитуда сигнала, снимаемого с выходных электродов, зависит от размера входных электродов, чем больше соотношение площадей входных, выходных электродов ($S_{вх}/S_{вых}$), тем больше перемещение пьезопривода.

Расчёт величины перемещения осуществляется по формуле

$$X_{\Sigma} = \Delta X \cdot n, \quad (1)$$

где X_{Σ} – величина перемещения пьезопривода, ΔX – величина перемещения одного пьезоэлемента пьезопривода, n – количество пьезоэлементов в пьезоприводе. Таким образом, учитывая, что все пьезоэлементы пьезопривода выполнены из одного материала и обладают одинаковыми свойствами, для определения величины перемещения пьезопривода X_{Σ} достаточно провести эксперимент на одном пьезоэлементе пьезопривода.

Основной задачей экспериментального исследования является определение величины перемещения ΔX пьезоэлемента пьезопривода, по амплитуде $U_{вых}$ сигнала, снимаемого с выходных электродов 5, 6.

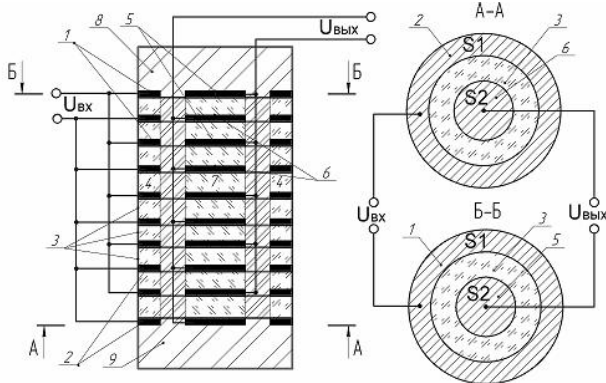


Рис. 1. Пьезопривод

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для определения величины перемещения пьезоэлемента, по амплитуде $U_{вых}$ сигнала, снимаемого с выходных электродов 5, 6, пьезоэлемент подключается по схеме отображённой на рис. 2.

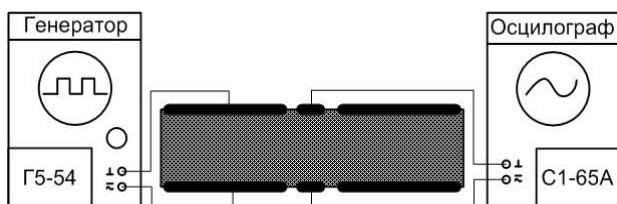


Рис. 2. Схема подключения пьезоэлемента

Параметры и характеристики пьезоэлемента отображены в табл. 1.

Таблица 1

Материал	Диаметр D , мм	Высота L , мм	S_1 , мм ²	S_2 , мм ²
ЦТБС-8	30	2	678	24

Генератором "Г5-54" на входные электроды площадью S_1 подаются напряжения с амплитудами $U_{вх}$ равными 20, 30, 40, 50, 60 В формы "меандр", также при помощи осциллографа "С1-65А" происхо-

дит измерение амплитуды $U_{вых}$ сигнала, снимаемого с выходных электродов площадью S_2 . Результаты измерений отображены в табл. 2.

Таблица 2

Входное напряжение $U_{вх}$, В	Выходное напряжение $U_{вых}$, В
20	10
30	17
40	21
50	25
60	29

Величина перемещения пьезоэлемента пьезопривода определяется по формуле

$$\Delta X = F/k, \quad (2)$$

где F – сила развиваемая пьезоэлементом, k – коэффициент упругости.

Коэффициент упругости зависит как от свойств материала, так и от размеров пьезоэлемента и определяется по формуле

$$k = \frac{E \cdot S}{L}, \quad (3)$$

где E – модуль Юнга, S – площадь поверхности, по которой распределено действие силы, L – высота пьезоэлемента.

Поскольку в свойствах пьезокерамики модуль Юнга не указан, а указана только скорость распространения звука в веществе, модуль Юнга E определим через скорость распространения звука в веществе по формуле

$$E = C^2 \cdot \rho, \quad (4)$$

где C – скорость распространения звука в пьезокерамике, ρ – плотность пьезокерамики;

Сила F , развиваемая пьезоэлементом определяется по формуле

$$F = \frac{S_1 \cdot U_{вх}}{g_{33} \cdot L}, \quad (5)$$

где S_1 – площадь входных электродов, $U_{вх}$ – амплитуда входного сигнала, g_{33} – электрическая константа по напряжению в режиме приёма, L – высота пьезоэлемента.

Параметры пьезокерамического материала ЦТБС-8:

$$g_{33} = 25,4 \cdot 10^{-3} \text{ В} \cdot \text{м/Н}, \quad C = 3,2 \cdot 10^3 \text{ м/с},$$

$$\rho = 7,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3,$$

где C – скорость распространения звука в пьезокерамике, ρ – плотность пьезокерамики.

Для определения величины перемещения пьезоэлемента определим модуль Юнга E

$$E = C^2 \cdot \rho = (3,2 \cdot 10^3)^2 \cdot 7,6 \cdot 10^3 = 7,7 \cdot 10^{10}.$$

Рассчитаем коэффициент упругости k

$$k = \frac{E \cdot S}{L} = \frac{7,7 \cdot 10^{10} \cdot 0,000706}{0,002} = 2,71 \cdot 10^{10}.$$

Сила F , развиваемая пьезоэлементом при подаче электрического напряжения амплитудой $U_{вх} = 20$ В равняется

$$F = \frac{S_1 \cdot U_{вх}}{g_{33} \cdot L} = \frac{0,000678 \cdot 20}{25,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002} = 266,9 \text{ Н}.$$

При подаче электрического напряжения амплитудой $U_{\text{вх}} = 30$ В равняется

$$F = \frac{S_1 \cdot U_{\text{вх}}}{g_{33} \cdot L} = \frac{0,000678 \cdot 30}{25,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002} = 400,39 \text{ Н.}$$

При подаче электрического напряжения амплитудой $U_{\text{вх}} = 40$ В равняется

$$F = \frac{S_1 \cdot U_{\text{вх}}}{g_{33} \cdot L} = \frac{0,000678 \cdot 40}{25,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002} = 533,85 \text{ Н.}$$

При подаче электрического напряжения амплитудой $U_{\text{вх}} = 50$ В равняется

$$F = \frac{S_1 \cdot U_{\text{вх}}}{g_{33} \cdot L} = \frac{0,000678 \cdot 50}{25,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002} = 667,3 \text{ Н.}$$

При подаче электрического напряжения амплитудой $U_{\text{вх}} = 60$ В равняется

$$F = \frac{S_1 \cdot U_{\text{вх}}}{g_{33} \cdot L} = \frac{0,000678 \cdot 60}{25,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002} = 800,787 \text{ Н.}$$

Перемещение пьезоэлемента при подаче электрического напряжения амплитудой $U_{\text{вх}} = 20$ В равняется

$$\Delta X = F/k = \frac{266,9}{2,71 \cdot 10^{10}} = 98,48 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

При подаче электрического напряжения амплитудой $U_{\text{вх}} = 30$ В равняется

$$\Delta X = F/k = \frac{400,39}{2,71 \cdot 10^{10}} = 147,7 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

При подаче электрического напряжения амплитудой $U_{\text{вх}} = 40$ В равняется

$$\Delta X = F/k = \frac{533,85}{2,71 \cdot 10^{10}} = 196,9 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

При подаче электрического напряжения амплитудой $U_{\text{вх}} = 50$ В равняется

$$\Delta X = F/k = \frac{667,3}{2,71 \cdot 10^{10}} = 246,2 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

При подаче электрического напряжения амплитудой $U_{\text{вх}} = 60$ В равняется

$$\Delta X = F/k = \frac{800,787}{2,71 \cdot 10^{10}} = 295,49 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

ВЫВОД

По результатам экспериментальных исследований можно сделать вывод о возможности контролировать величину перемещения ΔX пьезоэлемента, по амплитуде $U_{\text{вых}}$ выходного напряжения.

В табл. 3 отображены данные расчёта величины перемещения.

Таблица 3

Расчётное значение перемещения пьезоэлемента ΔX , м	Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, В
$102,65 \cdot 10^{-10}$	10
$153,9 \cdot 10^{-10}$	17
$205,32 \cdot 10^{-10}$	21
$256,6 \cdot 10^{-10}$	25
$307,9 \cdot 10^{-10}$	29

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перспективами дальнейших исследований является определение влияния параметров окружающей среды, электромагнитных излучений на величину перемещения пьезопривода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. № 54009 України, МКП(2006) F02M 51/00. П'єзопривід / М.Д. Кошовий, О.О. Стрілець (Україна). – № u201004629; Заявл. 19.04.2010; Опубл. 25.10.2010, Бюл. №20.
2. Пат. № 34947 України, МКП(2006) F02D 41/40. Пристрій керування системою впрыскування палива / М.Д. Кошовий, О.О. Стрілець (Україна). – №u200804544; Заявл. 09.04.2008; Опубл. 26.08.2008, Бюл. №16.
3. Пьезоэлектрические преобразователи / В.М. Шарапов, И.Г. Минаев, Ю.Ю. Бондаренко, Т.Ю. Кисиль, М.П. Мусиенко, С.В. Роттэ, И.Б. Чудаева / Под ред. В.М. Шарапова. – Черкассы; ЧГТУ, 2004. – 435 с.
4. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики / Под ред. В.М. Шарапова. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.
5. Стрелец А.А. Определение оптимального расположения электродов пьезопривода форсунки // Електротехніка і електромеханіка. – 2011. – № 4. – С. 53-55.
6. Системы впрыска топлива BOSCH / Сост. В.А. Деревянко; Пер. с пол. В. Мицкевич. – М.: Петит, 2000. – 200 с.

Bibliography (transliterated): 1. Pat. № 54009 Ukraini, MKP(2006) F02M 51/00. P'ezo privid / M.D. Koshovij, O.O. Strilec' (Ukraina). - № u201004629; Zayavl. 19.04.2010; Opubl. 25.10.2010, Byul. №20. 2. Pat. № 34947 Ukraini, MKP(2006) F02D 41/40. Pristrij keruvannya sistemoyu vpryskuvannya paliva / M.D. Koshovij, O.O. Strilec' (Ukraina). - №u200804544; Zayavl. 09.04.2008; Opubl. 26.08.2008, Byul. №16. 3. P'ezo`elektricheskie preobrazovateli / V.M. Sharapov, I.G. Minaev, Yu.Yu. Bondarenko, T.Yu. Kisil', M.P. Musienko, S.V. Rott'e, I.B. Chudaeva / Pod red. V.M. Sharapova. - Cherkassy; ChGTU, 2004. - 435 s. 4. Sharapov V.M., Musienko M.P., Sharapova E.V. P'ezo`elektricheskie datchiki / Pod red. V.M. Sharapova. - M.: Tehnosfera, 2006. - 632 s. 5. Strelec A.A. Opredelenie optimal'nogo raspolozheniya `elektrodiv p'ezoprivoda forsunki // Elektrotehnika i elektromehhanika. - 2011. - № 4. - S. 53-55. 6. Sistemy vpryska topliva BOSCH / Sost. V.A. Derevyanko; Per. s pol. V. Mickevich. - M.: Petit, 2000. - 200 s.

Поступила 02.09.2011

Стрелец Александр Александрович

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ" кафедра "Информационно-измерительные системы" 61070, Харьков, ул. Чкалова 17 тел. (063) 312-51-84

Strelets A.A.

Determination of displacement value of an injector piezoelectric actuator.

A problem of an injector piezoelectric actuator displacement determination through output signal amplitude is considered. The output signal amplitude is determined via experimental research. Functional dependence of the piezoelectric actuator piezoelectric element displacement on the output signal amplitude is revealed.

Key words – common rail, piezoelectric valve, piezoelectric actuator, piezoelectric sensor, piezoelectric transformer, domain-dissipative.