

Нікольський В.В., Лисенко В.Є., Нікольський М.В.
 НУ “ОМА”

ВИКОРИСТАННЯ П'ЄЗОПРИВОДУ ДЛЯ КЛАПАНА ПОДАЧІ ГАЗУ ДВОХПАЛИВНОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Однією з умов безпечної експлуатації суден LNG є підтримка в вантажних танках постійної температури вантажу. Однак, газ, все одно, випаровується. Можливих варіантів запобігання вибуху судна два: викидати газ в навколишнє середовище або утилізувати в дизелі. Природно, що найбільш прийнятним є другий спосіб, але, в той же час, він є найбільш складним з конструктивної точки зору [1, 2].

Серед загальноновизнаних лідерів з розробки та виробництва суднових дизельних двигунів є компанія Wärtsilä, яка останнім часом часто демонструє свою прихильність до природного газу в якості альтернативного палива. І як результат, на сьогоднішній день, вони вже мають у своєму арсеналі силові установки (тип DF) [3], які працюють на двох видах палива - дизель і газ. Займаючись розробкою двигунів і супутніх систем, в системі подачі палива (рис. 1) компанією використовується електромагнітний соленоїдний клапан для подачі газу фірми Woodward SOGAV-250 (рис. 2) [4].

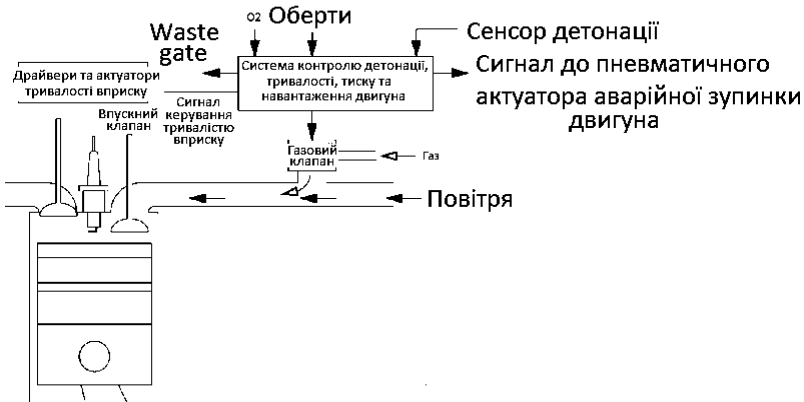


Рис. 1. Структурна схема системи подачі палива

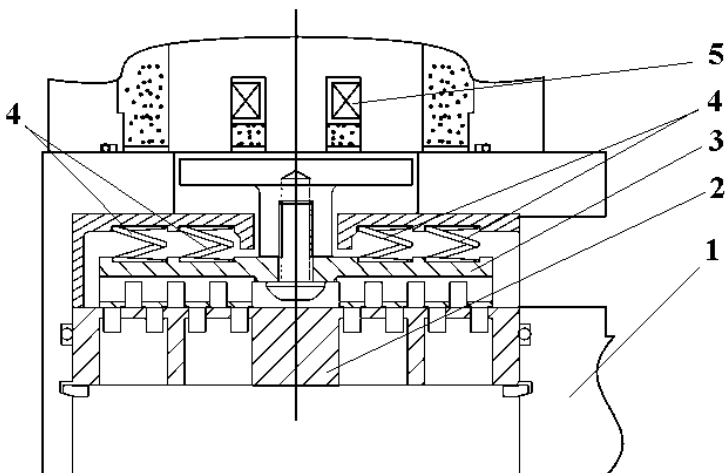


Рис. 2. Конструкція SOGAV – 250: 1 – корпус клапану; 2 – нижній упор; 3 – пластина; 4 – блок пружин; 5 – електромагнітний соленоїд

В процесі експлуатації SOGAV–250 спостерігається погіршення робочих характеристик, а саме:

- залипання електромагнітного клапану, яке призводить до зносу пари клапан-сідро;
 - неможливо впоратися з великою різницею тисків. Якщо перепад тиску зavelикий, клапан не відкривається;
 - термін служби клапану тільки 4000 годин;
 - час відкриття та закриття клапану 2 – 4 мс;
 - процеси коливання в електромагнітному соленоїду, що приводить до раннього закриття клапану, або неповного відкриття (рис. 3).
- Ці недоліки обумовлені використанням соленоїду.

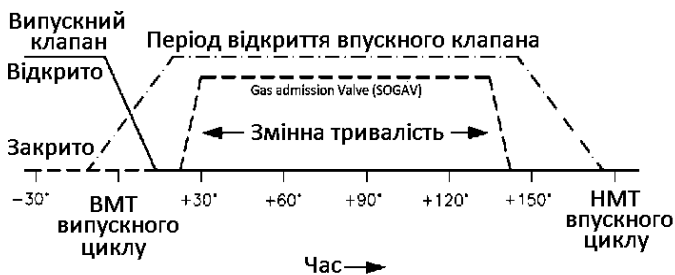


Рис. 3. Часова діаграма відкриття клапану

Метою цього дослідження є визначення самої можливості застосування п'єзоприводу для управління клапаном подачі газу.

Було висунуто гіпотезу, що згідно з аналогією з автомобільним паливним газовим устаткуванням фірми Bosch, де використовуються складальні п'єзоелектричні пакети, використання їх та лінійних п'єзодвигунів для переміщення клапану подачі газу замість електромагнітних соленоїдів, дозволить усунути сучасні недоліки.

Для визначення початкових умов застосування п'єзоприводу проведемо аналіз основних експлуатаційних вимог до SOGAV–250: час до повного відкриття / закриття (мах) – 0,002 сек.; ліміт току (не більше ніж 2 сек.) – 10 А; ліміт напруги – 24 В; максимальні витоки в закритому стані (0,0048 м³/мін) – 0,28 м³/ч; величина переміщення пластини клапану – ~ 0,4 (0,38 - 0,43) мм; максимальний тиск газового палива P1/ продувочного повітря P2 (абсолют) – 5/3 Бар; максимальна різниця тисків P1-P2 – 2 Бар; максимальна температура газового палива – 80 °С; робоча температура газового палива – 5 - 45 °С; робоча температура продувочного повітря – 30 - 55 °С.

В результаті аналізу вимог, які наведені в табл. 1, були встановлені найбільш критичні: час до повного відкриття / закриття; величина переміщення пластини клапану; максимальна різниця тисків.

В [5] наведені результати дослідження причини поведінки клапану SOGAV–250. Встановлено, що основна причина такої поведінки – виникнення коливань в електромагнітному соленоїді. І, як варіант, були проведені дослідження цифрової гідравлічної системи з гідравлічним циліндром з використанням два і чотири DFCUs [5, 6] і цифрової пневматичної системи клапанів. Також проведено дослідження трьох варіантів управління цими клапанами, а також оптимізація. Проте, у всіх випадках, все-рівно, залишається електромагнітний привод виконавчого механізму зі всіма недоліками, які притаманні їм.

У ряді досліджень [7] згадується про використання п'єзокерамічних стовпів і реверсивних лінійних двигунів, яким притаманні переваги в порівнянні з електромагнітними приводами.

В [7, 8] наведено порівняльні дослідження електромагнітних і електромеханічних приводів зі складальними п'єзостовпами та двигунами. Встановлено, що питоме зусилля до площі активної поверхні на порядок більше для п'єзоелектричної кераміки.

Застосування п'єзоприводу також дозволить збільшити термін служби клапану від 5000 год. до 50000, зберегти характеристики його роботи (табл. 1) та зменшити експлуатаційні витрати на обслуговування дизеля.

Аналіз табл. 1 дозволяє зробити висновок, що для заміни соленоїду можливе використання від біморфного ПР до роторного ПЕД.

Конструктивні рішення

Тип приводу	Маніпулятори			Двигуни	
	циліндр	біморф	стовп	лінійні (ЛПД)	роторні (ПЕД)
Конструкція п'єзрезонатору (ПР)					
Довжина ходу рухомого циліндра	<0,1 мкм		<0,5 мм	>5 мм	$n=0\div 5$ Гц

В основі всіх ПР лежать п'єзоелементи з двома типами поляризації: поперечної і подовжньої. На рис. 4 наведені три типи ПР, які на теперішній час використовуються у виконавчих механізмах: актуаторах та п'єзодвигунах.

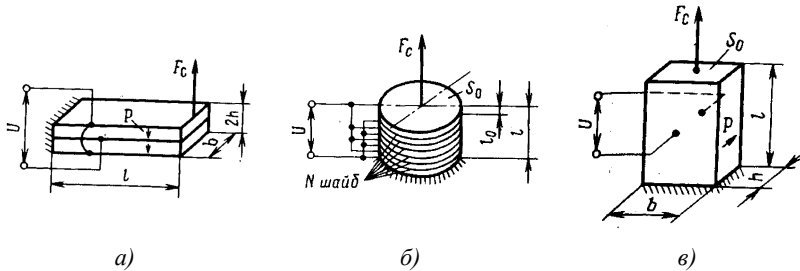


Рис. 4. Типи ПР: *a* - біморфна, консольно забита пластина (деформація кінця консолі); *б* - складальний пакет пластин, що працює на подовжньому п'єзо-ефекті; *в* - елемент, що працює на поперечному п'єзоєфекті; F_C – розвинуте зусилля; U – напруга, яка подається до ПР; S_0 – площа ПР; l – довжина; b - товщина; p - поляризація

Слід зазначити, що сучасні ПР працюють в широкому діапазоні температур. Однак, використання 3-D принтерів при виготовленні двигунів, з одного боку, спростило процес виготовлення, а з другого – знизило температурний діапазон використання за рахунок пластмас, які застосовуються. Тому перевагу слід віддавати конструктивним елементам, які виготовлені з металу. Це дозволяє розширити температурний діапазон до $+80$ °С. Лінійні двигуни забезпечують швидкості до 0,7 м/с, роторні ПЕД до 300 об/хв. [9, 10].

Таким чином, подальші дослідження доцільно направити на розробку конструкції приводу клапану подачі газу, визначення варіанту управління, розробки програмно-технічного комплексу - комп'ютерної системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Tajima, H. and Tsuru, D. 2013. Reduction of Methane Slip from Gas Engines by O₂ Concentration Control using Gas Permeation Membrane: <http://papers.sae.org/2013-01-2618/> Cited 12.06.2017.
2. Masters of gas engine technology. Twenty-four7, 01/2013. Available: <http://www.wartsila.com/file/Wartsila/en/1278531145652a1267106724867-Masters-of-Gas-Engine-Technology.pdf>. Cited 17.10.2013.
3. Wartsila Service Letters #444 SL87-223/UM MC/MCE Engines. Super-VIT Fuel Pumps: Adjustment & Maintenance: <http://marengine.com/ufiles/SL87-223.pdf>. 12.06.2017.
4. SOGAV 250. Solenoid Operated Gas Admission Valve. Product Specification. Available: <http://www.woodward.com/EngineAdmissionValves.aspx>. Cited 12.06.2017.
5. JUSSI PEURALA Model-based design, modelling and simulation of digital hydraulic GAS admission valve / Master of Science Thesis, 132 pages, 12 Appendix pages May 2014, <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22251/peurala.pdf;sequence=1>
6. Bucher Directional Seat Valve Series WS22G ... / WS22O <http://www.as-hydraulic.com/bucher-directional-seat-valve-series-ws22g-...---ws22o.html>. Cited 12.06.2017.
7. Никольский А.А. Точные двухканальные следящие электроприводы с пьезокомпенсаторами. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 160 с.
8. Нікольський В.В. Основи створення пристроїв п'єзоактивної механіки для систем керування двигунами внутрішнього згорання // Автореферат дис. на здоб. вченої ступені докт. техн. наук. - Одеса.: ВидавІнформ, 2005. - 36 с.
9. Лавриненко В.В., Карташев И.А., Вишневский В.С. Пьезоэлектрические двигатели. – М.: Энергия, 1980. – 112 с.
10. Петренко С.Ф. Пьезоэлектрический двигатель в приборостроении. – К.: «Корнійчук», 2002. – 96 с.