

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВИСКОЗИМЕТР

Для измерения вязкости тиксотропных жидкостей, к которым относятся тяжелое моторное топливо и масло, находящихся в триботехническом зазоре. Их динамическая вязкость отличается от ньютоновских жидкостей. Основное отличие вискозиметров – подобие процессов в измерительном зонде процессам в топливной аппаратуре: зазор и перемещение во всем диапазоне скоростей. Существующие вискозиметры проводят измерение только при фиксированных значениях скоростей. Использование пьезоэлектрических двигателей, обладающих высоким пусковым моментом по сравнению с электромеханическими при одинаковых габаритных размерах, позволяет плавно изменять диапазон скоростей без использования редукторов.

Ключевые слова: пьезоэлектрический вискозиметр; вискозиметр с пьезоэлектрическим приводом; тиксотропная жидкость; линейный пьезоэлектрический двигатель; роторный пьезодвигатель.

Тяжелое топливо и смазочное масло, используемое в судовых дизелях, относятся к тиксотропным жидкостям [1, 2]. Из существующих методов измерения вязкости (падающего шарика, соосных цилиндров, соосных дисков, вибрационный, по перепаду давления в капилляре, ультразвуковые и ротационные) в судовых системах распространение нашли методы по перепаду давления, соосных цилиндров, ультразвуковой.

В [3, 4] исследуются вопросы, связанные с отличием их значений коэффициентов вязкости, полученных разными методами измерения. Установлено, что значения коэффициентов вязкости для узлов, совершающих вращательное движение, и узлов, совершающих линейное перемещение, отличаются.

Отличительной особенностью всех вискозиметров является работа измерительного зонда при

постоянной скорости подвижной части (цилиндра или диска). Однако топливо и масло, используемые при работе главного двигателя, испытывают деформации в широком диапазоне скоростей, и их динамическая вязкость для разных скоростей и градиента сдвиговых деформаций будет отличаться (носит ярко выраженный S-характер), что нашло подтверждение в [5]. Как известно, коэффициент динамической вязкости «ньютоновской» жидкости определяется из следующего соотношения:

$$\eta = \frac{F_{TP}/S}{\Delta V/\Delta h}$$

где F_{TP} – сила внутреннего трения, $\frac{\Delta V}{\Delta h}$ – градиент скорости, S – площадь поверхности внутреннего цилиндра, h – толщина слоя.

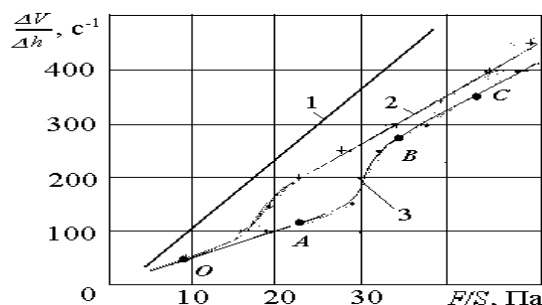


Рис. 1. Коэффициент динамической вязкости: 1 – «ньютоновская» жидкость; 2, 3 – тиксотропные жидкости

В этом соотношении из всех перечисленных коэффициентов постоянными являются S и Q .

Преимущества и недостатки вискозиметров и реометров с электромагнитными и электромеханическими приводами рассмотрены в [6].

Целью данной статьи является анализ возможностей, достоинств и недостатков вискозиметров и реометров, использующих пьезоэлементы (ПЭ) либо в виде датчика, либо привода измерительного зонда.

Общеизвестно, что ПЭ обладают прямым и обратным пьезоэффектом. В зависимости от использования

типа эффекта они могут выступать в качестве первичных преобразователей энергии (датчиков) на основе прямого пьезоэффекта либо вторичных преобразователей (обратный пьезоэффект) – актуаторов и двигателей (ПЭД).

На рис. 2 представлены основные конструкции, наиболее часто встречающихся в технике ПЭ: наборной пакет пластин, работающий на продольном пьезоэффекте (рис. 2, а); биморфная, консольно заделанная пластина (рис. 2, б); биморфная мембрана, опирающаяся на края (рис. 2, в) и моноэлемент (рис. 2, г) [7].

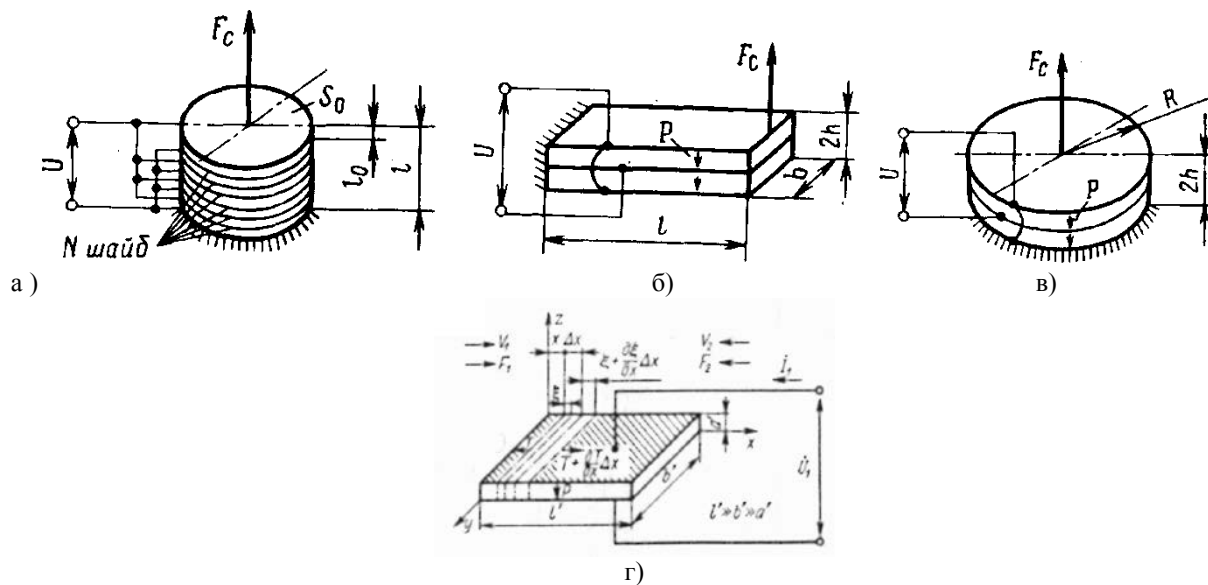


Рис. 2. Конструкции пьезоэлементов

Проведем классификацию вискозиметров на основе ПЭ (рис. 3).

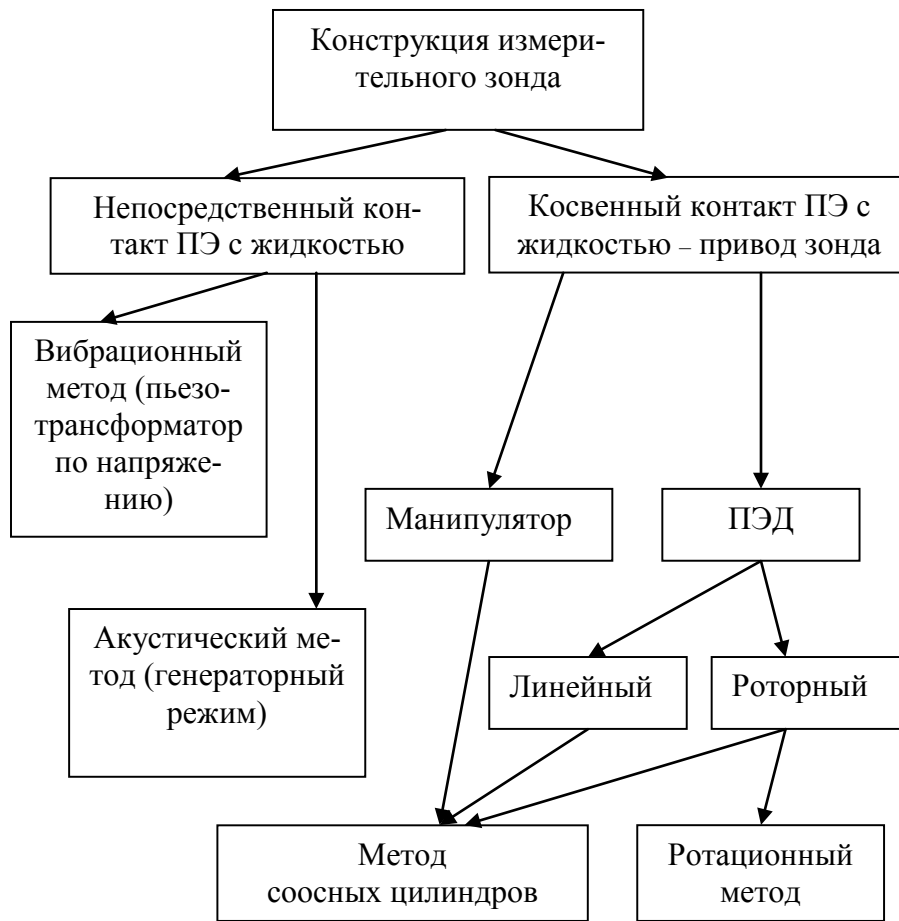


Рис. 3. Классификация вискозиметров, использующих ПЭ

Анализ особенностей работы пьезоэлектрических вискозиметров с непосредственным контактом жидкости и ПЭ при достаточно простой реализации конструкции позволил выявить следующие недостатки:

- при температурах от 45 до 150 градусов происходит значительное изменение характеристик ПЭ, что при длительной эксплуатации приводит к отслаиванию электродов, и, соответственно, к изменению площади ПЭ, что, в свою очередь, изменяет емкость и частоту колебаний ПЭ. А, как известно, ПЭ достигают максимального КПД на частоте резонанса.

- режимы работы ПЭ (скорость колебаний и диапазон перемещений) отличаются от режимов работы элементов топливной аппаратуры;

- генераторный режим работы ПЭ [8, 9] не позволяет использовать его во всем диапазоне линейных скоростей, соответствующих топливной аппаратуре. Частота резонанса ПЭ существенно отличается от частот работы узлов топливной аппаратуры и подшипников трения. Попытка установки ПЭ на вращающийся зонд [10] не позволила реализовать подобие процессам ТА.

Следующая большая группа – вискозиметры с приводом, использующим манипуляторы и двигатели. В этих вискозиметрах удалось реализовать подобие процессов в измерительном зонде аналогичные процессам в топливной аппаратуре. Температурный

режим работы ПЭ находится в допустимых пределах, не выше +60 С.

Однако, для получения перемещений пьезоэлектрическими манипуляторами требуется последовательное механическое соединение ПЭ в наборной пакет, т.к. абсолютное изменение толщины пьезоэлектрической монопластины за счет продольного пьезоэффекта составляет всего 0,05 – 0,3 мкм. В тоже время упругие свойства пьезоманипуляторов в сочетании со слабым внутренним демпфированием приводят к их сильной колебательности в переходных процессах при изменении управляющего поля и механической нагрузки.

Поэтому в [11] был задействован роторный пьезоэлектрический двигатель ДЕП-28 [12] в качестве привода измерительного зонда, который к тому моменту уже имел совершенную конструкцию. В [13, 14] предложены конструкции вискозиметров на соосных цилиндрах с линейными пьезодвигателями (ЛПД). Однако в тот период линейные двигатели по цене и ресурсу уступали роторным двигателям. В тоже время в [5] было высказано предположение, что при определенном уровне развития линейных пьезоэлектрических двигателей, возможно создание вискозиметров с соосными цилиндрами по приемлемой цене и с достаточным сроком эксплуатации.

Последние достижения лаборатории под руководством С. Ф. Петренко по созданию ЛПД открыли широкие возможности в этом направлении. Была

разработана универсальная конструкция ПЭ [16], которая позволила применить его как в ЛПД LPM-5-SP, так и в роторных двигателях РМ – 1124R.

Сравнение характеристик можно провести по таблице 1.

Таблица 1

Характеристики пьезодвигателей

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ЛПД	Роторный ПЭД
Диапазон перемещения	20 mm	
Максимальное усилие/момент	1,2 N	20mNxm
Максимальная скорость	0,2 m/s	120rpm
Минимальный шаг	0,04 μm	5 arc.sec
Длительность строба минимального шага, μs	30	30
Частота следования шагов (приемистость), kHz	149,7	149,7
Напряжение питания, V	12	12
Максимальный ток (при максимальной скорости), mA	400	240
Вес двигателя, g	35	50
Размер, mm	59x47x10	57x40x16

Нами предлагается использование вышеперечисленных двигателей при построении вискозиметров ротационных и на соосных цилиндрах. В качестве измерительного зонда будет использован распылитель топливной форсунки для обеспечения подвоя процессов в измерительном зонде процессам в топливной аппаратуре.

Однако в отличие от ПЭД предыдущего поколения, где использовался амплитудный метод управления, данные двигатели для обеспечения заданного диапазона скоростей и частот вращения используют широтно-импульсное управление [12], что потребует разработки алгоритма управления и использования промышленных контроллеров, работающих в «жестком» реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников П. Ф. Виброреология / К. : Наук. думка, 1983. – 272 с.
2. Алтоиз Б. А., Поповский Ю. М. Физика приповерхностных слоев. – Одесса : Астропринт, 1995. – 153 с.
3. Алтоиз Б. А., Ханмамедов С. А. Трибологические особенности граничных смазочных слоев судовых топлив и масел // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. – 2003. – Вып. 9. – Одесса : ОНМА. – С. 80–86.
4. Никольский В. В., Багдасарян Л. Б. Определение реологических характеристик топлив и масел, используемых в СЭУ // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2005. – Вып. 14. – С. 31–35.
5. Никольский В. В. Оценка реологических свойств тиксотропных жидкостей реометрами с пьезоприводом / В. В. Никольский // Автоматизация судовых технических средств: науч. – техн. сб. – Одесса : ОНМА, 2005. – Вып. 10. – С. 61 – 64.
6. Никольский В. В., Ханмамедов С. А., Ядрова М. В. Пьезоэлектрический привод вискозиметра // Автоматизация судовых технических средств: науч. – техн. сб. – Одесса : ОНМА, 2003. – Вып. 8. – С. 64–71.
7. Никольский А. А. Точные двухканальные следящие электроприводы с пьезокомпенсаторами. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 160 с.
8. Измерительные преобразователи: Учебное пособие / Р. Г. Джагулов, Е. Б. Плавинский, В. В. Никольский, А. М. Веретенник. – Одесса : Астропринт, 2002. – 216 с.
9. Плавинский Е. Б., Никольский В. В., Цубенко А. С. Пьезоэлектрический вискозиметр // Судовые энергетические установки: науч. техн. сб. – Одесса : ОНМА, 2003. – Вып. 8. – С. 130–132.
10. Революция в измерении вязкости от VAF Instruments // Судоходство. – Одесса, 2000. – № 1–2. – С. 66 – 67.
11. Никольский В. В. Декларационный патент на корисну модель України, МКІ 7 G01N11/10 Вискозиметр. – №u200500629; Заявл. 24.01.2005; Опубл. 15.07.2005, Бюл. №7.
12. Петренко С. Ф. Пьезоэлектрический двигатель в приборостроении. – К. : «Корнійчук», 2002. – 96 с.
13. Никольский В. В. Декларационный патент України, МКІ 7 G01N11/10 Вискозиметр. – № 2003054350; Заявл. 15.05.2003; Опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1.
14. Никольский В. В. Декларационный патент України, МКІ 7 G01N11/10 Вискозиметр. – № 20031211819; Заявл. 18.12.2003; Опубл. 15.11.2004, Бюл. № 11.
15. Лавриненко В. В., Коваль В. С., Петренко С. Ф., Лукін В. В., Франченко Р. В. Патент на винахід №76759 України, МПК(2006) H02N 2/00 П'єзоелектричний двигун. – № 20040110441; Заявл. 18.12.2003; Опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9.

**М. В. Нікольський,
К. Ю. Бережний,**
Національний університет
«Одеська морська академія»,
м. Одеса, Україна

П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИЙ ВІСКОЗИМЕТР

Для вимірювання в'язкості тиксотропних рідин, до яких відносяться важке моторне паливо і масло, які перебувають у триботехнічному зазорі. Їх динамічна в'язкість відрізняється від ньютонівських рідин. Основна відмінність віскозиметрів - подоба процесів в вимірювальному зонді процесам в паливній апаратурі: зазор і переміщення у всьому діапазоні швидкостей. Існуючі віскозиметри проводять вимір тільки при фіксованих значеннях швидкостей. Використання п'єзоелектричних двигунів, що володіють високим пусковим моментом в порівнянні з електро-механічними при однакових габаритних розмірах, дозволяє плавно змінювати діапазон швидкостей без використання редукторів.

Ключові слова: п'єзоелектричний віскозиметр; віскозиметр з п'єзоелектричним приводом; тиксотропна рідина; лінійний п'єзоелектричний двигун; роторний п'єзодвигун.

**M. V. Nikol'skiy,
K. I. Berezhnyi,**
National University
«Odessa Maritime Academy»,
Odessa, Ukraine

PIEZOELECTRIC VISCOMETER

To measure the viscosity of thixotropic fluids in tribotechnical clearance: heavy motor fuel and oil. Their dynamic viscosity differs from the Newtonian liquids. The main difference between viscometers – like processes in the measuring probe processes in fuel equipment: clearance and movement throughout the speed range. Existing viscometers, perform measurements only at fixed speeds. Use piezoelectricity motors with high starting torque compared to Electromechanical in the same footprint, allows you to smoothly change the speed range without the use of reducers.

Key words: piezoelectric viscometer; a viscometer with a piezoelectric actuator; a thixotropic fluid; a linear piezoelectric motor; rotary piezo motors.

Рецензенти: д. т. н., проф. **М. П. Мусяченко;**
к. ф.-м. н., доц. **О. В. Дворник.**

© Нікольський М. В., Бережної К. Ю., 2016

Дата надходження статті до редколегії 09.11.16