

УДК 681.2.08

<sup>1</sup>В.В. Древецький, канд.техн.наук  
<sup>2</sup>Є.В. Юрчевський**ЕЛЕКТРОФЛЮЇДНИЙ ВІСКОЗИМЕТР ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ**Національний університет водного господарства і природокористування (Рівне)  
E-mail: <sup>1</sup>dvv@nuwm.rv.ua; <sup>2</sup>evgen@nuwm.rv.ua

*Наведено структурну схему і принцип роботи віскозиметра динамічної в'язкості нафтопродуктів на основі симетричного гідравлічного моста з електрофлюїдними перетворювачами та мікропроцесорної системи зрівноваження. Одержано умову рівноваги гідравлічного моста та розглянуто результати комп'ютерного моделювання віскозиметра.*

*The block diagram is given and the principle of work of the dynamic viscosity of oil products viscosimeter on the basis of symmetric hydraulic bridge with by electrofluid converters and microprocessor system of an equilibration is described. The condition of the hydraulic bridge balance is received and results of computer modelling of the viscosimeter are presented.*

**Постановка проблеми**

В'язкість – одна з основних фізичних величин, які визначають експлуатаційні властивості авіаційних паливно-мастильних матеріалів. Інтенсивний розвиток сучасної авіаційної техніки потребує неперервного високоточного визначення в'язкості в процесі експлуатації літальних апаратів.

**Аналіз досліджень**

Застосування ротаційних або вібраційних віскозиметрів [1; 2] на літальних апаратах неможливо через наявність прецизійних рухомих механічних частин – обертових або вібраційних чутливих елементів, – складності перетворювальних схем і внаслідок цього обмеженість функціонування в умовах, які відмінні від нормальних, наприклад, на рухомих механізмах тощо.

Для вимірювання динамічної в'язкості також широко застосовують капілярні віскозиметри. Один із методів вимірювання цього параметра – вимірювання незрівноваженим мостовим дросельним перетворювачем (МДП), складеним з капілярів (ламінарих дроселів) різної довжини в мостову вимірювальну схему.

Вихідним інформативним сигналом для нього є перепад тиску у вимірювальній діагоналі моста в режимі постійної витрати рідини [3].

Загальним недоліком більшості відомих МДП є те, що вони працюють за схемою незрівноваженого моста, тому їх чутливість має максимальне значення тільки на початку вимірювального діапазону, а далі вона знижується.

Цей недолік можна усунути зрівноваженим симетричним МДП, в якому стан рівноваги досягається зміною гідравлічного опору ламинарного дроселя в одному або двох протилежних плечей моста.

Але відомі способи зрівноваження гідравлічних мостів шляхом зміни гідравлічних опорів одного або двох регульованих дроселів не можна вважати задовільними у зв'язку із труднощами створення дроселів із плавним регулюванням величини гідравлічного опору і стабільними характеристиками. Тому виникає необхідність у розробці віскозиметра динамічної в'язкості, у конструкції якого відсутні рухомі механічні або електромеханічні елементи.

**Результати досліджень**

В результаті проведення досліджень розроблено віскозиметр динамічної в'язкості нафтопродуктів на основі електрофлюїдних (електрогідравлічних) перетворювачів. Вони не мають рухомих елементів і здатні працювати в умовах невагомості, різкої зміни величин прискорення, вібрації, тиску, низьких температур. Віскозиметр має порівняно просту перетворювальну схему з вихідним уніфікованим сигналом і призначений для вимірювання динамічної в'язкості таких рідин, як авіаційне паливо, дизельне паливо, бензин, трансформаторне масло та інші нафтопродукти.

Електрофлюїдний віскозиметр динамічної в'язкості нафтопродуктів (рис. 1) являє собою мостовий електрофлюїдний перетворювач (МЕФП), який є продуктом синтезу симетричного дросельного мостового перетворювача [4] і електрогідравлічного пристрою [5] та мікропроцесорної системи розгортального зрівноваження на основі мікроконтролера PIC16F877.

Мостовий електрофлюїдний перетворювач складається з двох ідентичних ламинарих дроселів ЛД1, ЛД2 та двох ідентичних електрофлюїдних перетворювачів ЕФП1 і ЕФП2, з'єднаних у симетричну схему, у вимірювальну діагональ якої ввімкнений дифманометр (нуль-індикатор) ДМ.

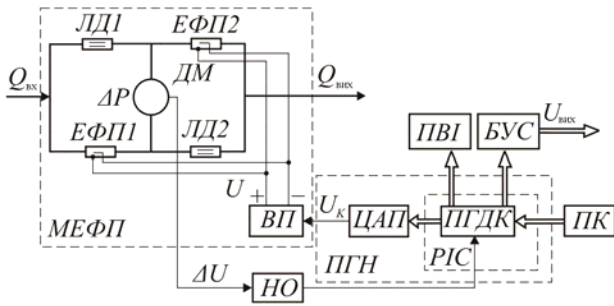


Рис.1. Структурна схема електрофлюїдного віскозиметра динамічної в'язкості:

ЛД1, ЛД2 – ламінарні дроселі; ДМ – дифманометр; ПВІ – пристрій відображення інформації; БУС – блок вихідного уніфікованого сигналу; ВП – високовольтний перетворювач; НО – нульовий орган; ПГДК – програмований генератор двійкового коду; PIC – мікроконтролер; ЦАП – цифроаналоговий перетворювач; ПК – пульт кнопочний

Електричний вихід дифманометра ДМ увімкнено у блок розгортального зрівноваження, звідки напруга керування  $U_K$  подається на високовольтний перетворювач ВП, напруга  $U$  якого керує електрофлюїдними перетворювачами (ЕФП). Витрата рідини  $Q$  через перетворювач підтримується сталою.

Електрофлюїдний перетворювач (рис. 2) складається із корпусу 1, виконаного з діелектричного матеріалу з гідравлічним каналом циліндричної форми діаметром  $D = 5$  мм.

У ньому розміщені два електроди, один з яких виконаний у вигляді голки 2 довжиною  $l = 8-10$  мм, діаметром  $d_0 = 1$  мм і радіусом заокруглення гострої частини  $r_0 = 0,05-1$  мм, а інший електрод – у вигляді металевої трубки (капіляра) 3 довжиною  $L = 80-150$  мм і з внутрішнім отвором  $d = 1,5-2$  мм.

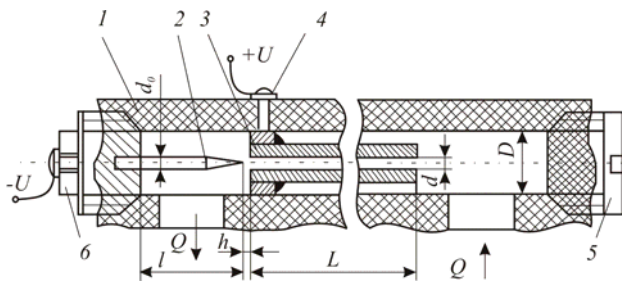


Рис. 2. Конструктивна схема ЕФП:

1 – діелектричний корпус; 2 – голковий електрод; 3 – трубчатий електрод; 4 – клемма для підключення додатного потенціалу; 5 – технологічна заглушка, 6 – клемма для підключення від'ємного потенціалу

Відстань по осі між голковим та трубчатим електродами становить  $h = 0,5-1$  мм. До голкового електрода підводиться від'ємний потенціал, а до трубчатого – додатний.

При зміні величини прикладеної напруги (від 4 до 25 кВ) унаслідок електрофлюїдного ефекту [6] буде змінюватися гідравлічний опір ЕФП. Тобто ЕФП є регульованим електрогідравлічним дроселем, який під дією вхідної напруги плавно змінює величину гідравлічного опору та має стабільні характеристики, що є перевагою такого дроселя.

Ламінарний дросель за конструкцією аналогічний трубчатому електроду ЕФП, тільки без голкового електрода та іншої довжини  $L$ , яка залежить від діапазону вимірювання параметра рідини.

Умову рівноваги гідравлічної мостової схеми МЕФП за відсутності перепаду тиску у вимірювальній діагоналі ( $\Delta P = 0$ ) запишемо так:

$$R_{ЛД1} \cdot R_{ЛД2} = R_{ЕФП1} \cdot R_{ЕФП2},$$

де  $R_{ЛД1}, R_{ЛД2}, R_{ЕФП1}, R_{ЕФП2}$  – гідравлічні опори ламінарних дроселів ЛД1, ЛД2 та електрофлюїдних перетворювачів ЕФП1, ЕФП2 відповідно. Гідравлічний опір ламінарних дроселів визначають за формулою

$$R_{\hat{E}\hat{A}} = R_{\hat{E}\hat{A}1} = R_{\hat{E}\hat{A}2} = \hat{E}_{\hat{E}\hat{A}} \mu, \quad (1)$$

де  $K_{ЛД}$  – конструктивний комплекс ламінарного дроселя:

$$\hat{E}_{\hat{E}\hat{A}} = 128L_E / \pi d_E^4;$$

$L_L$  – довжина ламінарного дроселя;  $d_L$  – діаметр ламінарного дроселя;  $\mu$  – динамічна в'язкість діелектричної рідини.

Гідравлічні опори електрофлюїдних перетворювачів ЕФП визначають

$$R_{\hat{A}\hat{O}\hat{I}} = R_{\hat{A}\hat{O}\hat{I}1} = R_{\hat{A}\hat{O}\hat{I}2} = K_{\hat{O}\hat{A}} \mu + K_{\hat{A}\hat{O}\hat{I}} U^{2,443}, \quad (2)$$

де  $K_{TE}$  – перший конструктивний комплекс трубчатого електрода ЕФП:

$$\hat{E}_{\hat{O}\hat{A}} = 128L_{\hat{O}\hat{A}} / \pi d_{\hat{O}\hat{A}}^4;$$

$L_{TE}$  – довжина трубчатого електрода:

$$L_{TE} < L_L, \text{ якщо } d_{TE} = d_L;$$

$$L_{TE} = L_L, \text{ якщо } d_{TE} > d_L;$$

$d_{TE}$  – діаметр трубчатого електрода;  $K_{ЕФП}$  – другий конструктивний комплекс ЕФП, значення якого отримують на основі формул, наведених у праці [6], або експериментально;  $U$  – напруга керування, що подається на електроди ЕФП.

Із формул (1), (2) умову рівноваги моста запишемо у вигляді

$$K_{\dot{E}\dot{A}}\mu = K_{\dot{O}\dot{A}}\mu + K_{\dot{A}\dot{O}\dot{I}}U^{2,443} \tag{3}$$

Якщо привести вираз (3) до вигляду

$$U = \left( \frac{K_{\dot{E}\dot{A}} - K_{\dot{O}\dot{A}}}{K_{\dot{A}\dot{O}\dot{I}}} \mu \right)^{\frac{1}{2,443}} \tag{4}$$

то очевидно, що стан рівноваги розглянутого МЕФП досягається, якщо напруга пропорційна динамічній в'язкості діелектричної рідини за умови постійної витрати.

Отже, вираз (4) можна записати у вигляді

$$U = (K_M \mu)^{\frac{1}{2,443}} \tag{5}$$

де  $K_M$  – постійний коефіцієнт гідравлічного моста з ЕФП:

$$K_M = \frac{K_{\dot{L}\dot{D}} - K_{\dot{T}\dot{E}}}{K_{\dot{E}\dot{F}\dot{P}}}, \text{ якщо } Q = \text{const}.$$

З формули (5) випливає, що за напругою  $U$  в момент рівноваги можна визначити динамічну в'язкість рідини  $\mu$ .

Віскозиметр динамічної в'язкості нафтопродуктів працює таким чином.

При увімкненні живлення програмований генератор напруги (ПГН) програмно розгортає напругу  $U_K$  за заданим періодом  $T$  (рис. 3).

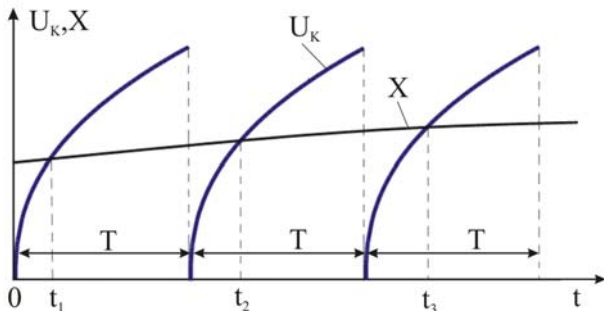


Рис. 3. Часові діаграми розгортання напруги компенсації  $U_K$  і вимірювальної величини  $X(\mu)$

У цей період високовольтна напруга  $U$  на електродах ЕФП призводить до зміни перепаду тиску у відповідних гідравлічних плечах МЕФП, що при певному значенні  $U$  або  $U_K$ , зрівноважує гідравлічний міст.

Дифманометр ДМ (рис. 1) фіксує відсутність у вимірювальній діагоналі перепад тиску  $\Delta P = 0$ . На нульовий орган НО подається напруга  $\Delta U$ , значення якої відповідає моменту рівноваги моста. Нульовий орган НО перетворює  $\Delta U$  в логічну одиницю, що дає команду через ПГН на ПВІ про відображення значення динамічної в'язкості  $\mu$ , яка пропорційна вихідній напрузі  $U_K$  ПГН або високовольтній керуючій напрузі  $U$  в моменти зрівноваження  $t_1, t_2, t_3$ .

Залежно від швидкості змін параметрів технологічного процесу можна також змінити час розгортання напруги ПГН програмно або за допомогою кнопочового пульта ПК (рис. 1), але при цьому відповідно зміниться час вимірювання, тобто час виведення інформації на дисплей ПВІ.

Оскільки час розгортання  $T$  напруги  $U_K$  становить 1–3 с, то для більшості технологічних процесів це дозволяє ефективно вимірювати динамічну в'язкість на потоці.

У середовищі MatLab 6.1 Simulinc було проведено комп'ютерне моделювання віскозиметра динамічної в'язкості.

При моделюванні значення динамічної в'язкості збільшували від  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $8 \cdot 10^{-3}$  Па·с, а потім зменшували з  $8 \cdot 10^{-3}$  до  $6 \cdot 10^{-3}$  Па·с протягом часу  $t = 10$  с.

Результати моделювання зведено у числовій формі в таблицю.

**Результати комп'ютерного моделювання віскозиметра динамічної в'язкості нафтопродуктів**

Моменти зрівноваження $t, \text{с}$	Напруга керування на електродах ЕФП $U, \text{В}$	Динамічна в'язкість $\mu \cdot 10^{-3}, \text{Па} \cdot \text{с}$
0,476	18981	5,36
1,546	20061	6,13
2,61	20956	6,82
3,66	21640	7,38
4,695	22100	7,77
5,714	22334	7,97
6,715	22349	7,98
7,699	22155	7,81
8,669	21764	7,48
9,627	21193	7,01

Згідно з отриманими результатами моделювання було побудовано вихідну статичну характеристику віскозиметра динамічної в'язкості (рис. 4), яка апроксимується лінійним рівнянням з похибкою не більше 0,23%:

$$\mu = 7,84 \cdot 10^{-7} U - 9,59 \cdot 10^{-3}.$$

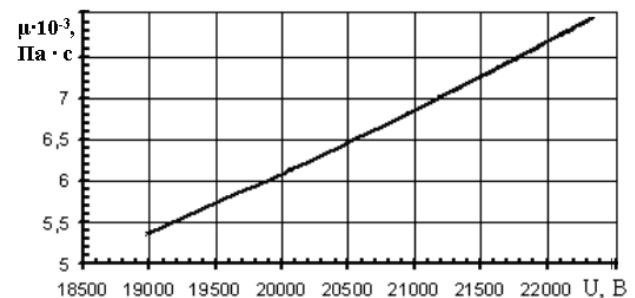


Рис. 4. Статична характеристика датчика динамічної в'язкості

**Висновки**

1. Розроблено електрофлюїдний віскозиметр динамічної в'язкості з мікропроцесорною системою розгортального зрівноваження, який повністю позбавлений рухомих механічних і електромеханічних конструктивних елементів, що суттєво поліпшує метрологічні характеристики віскозиметра та розширює діапазон його практичного застосування.
2. Виведено умову рівноваги мостового електрофлюїдного перетворювача віскозиметра нафтопродуктів.

**Література**

1. *Петрушак В.С.* Розробка фазочастотного методу та засобу для підвищення точності ротаційного віскозиметра: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.11.13. – К.: Київ. нац. ун-т технологій та дизайну, 2003. – 20 с.

2. *Кузьменко О.Ю.* Ротационные вискозиметры с СВЧ системой преобразования контролируемого параметра: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.11.13. – Тамбов: ТГТУ, 2003. – 20 с.
3. *А.с.371478 СССР.* М. КлG01n 11/08. Способ измерения вязкости / Е.П. Пистун, Л.П. Фарби, В.М. Кос, Л.П. Данельская. – №1689705/26-25; Заявл 13.08.71; Опубл. 22.02.73, Бюл. №12.
4. *Кос В.М., Древецкий В.В.* Измерение реологических характеристик дроссельным мостовым преобразователем / Контрольно-измерительная техника. – Львов, 1975. – Вып. 17. – С. 107–109.
5. *А.С.№1695000 СССР.* Устройство для преобразования аналогового электрического сигнала в сигнал перепада давления / В.В. Древецкий, Е.В. Юрчевский, А.П. Яцук. – 1991, БИ, №44.
6. *Нагорный В.С.* Электрофлюидные преобразователи. – Л.: Судостроение, 1987. – 257 с.

Стаття надійшла до редакції 06.06.06.