

УДК 681.2.08:532.5

**ВИМІРЮВАННЯ В'ЯЗКОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ ЗРІВНОВАЖЕНИМИ ЕЛЕКТРОФЛЮЇДНИМИ МОСТОВИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ****Є.В. Юрчевський**

Національний університет водного господарства і природокористування  
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, тел.: (0362)22 – 086, e-mail: mail@niwm.rv.ua

*Проаналізовані відомі методи і прилади вимірювання в'язкості нафтопродуктів. Обґрунтована необхідність у розробленні засобів вимірювання з використанням вимірювальних перетворювачів, які позбавлені рухомих механічних і електромеханічних елементів. Запропоновано варіанти конструкцій, описано принцип роботи та переваги електрофлюїдних перетворювачів. Представлені гідравлічні схеми та рівняння статичних характеристик зрівноважених мостових електрофлюїдних перетворювачів в'язкості нафтопродуктів. Дано рекомендації щодо вибору схемних варіантів мостових електрофлюїдних перетворювачів та способу їх зрівноваження. Представлені структурні схеми, елементи конструкцій, програмного забезпечення та описано принцип роботи пристроїв вимірювання в'язкості нафтопродуктів зі слідуючим та розгортальним зрівноваженням.*

*Ключові слова: прилади контролю в'язкості, вимірювальні перетворювачі, мостові електрофлюїдні перетворювачі, слідкування і зрівноваження.*

*Проанализированы известные методы и приборы контроля вязкости нефтепродуктов. Обоснована необходимость в разрабатывании средств контроля с использованием измерительных преобразователей, которые лишены подвижных механических и электромеханических элементов. Предложены варианты конструкций, описан принцип работы и преимущества электрофлюидных преобразователей. Представлены гидравлические схемы и уравнения статических характеристик уравновешенных мостовых электрофлюидных преобразователей вязкости нефтепродуктов. Дано рекомендации относительно выбора схемных вариантов мостовых электрофлюидных преобразователей и способа их уравнивания. Представлены структурные схемы, элементы конструкций, программного обеспечения и описан принцип работы устройств контроля вязкости нефтепродуктов со следящим и развертывающим уравниванием.*

*Ключевые слова: приборы контроля вязкости, измерительные преобразователи, мостовые электрофлюидные преобразователи, слежение и уравнивание.*

*The recognised methods and the devices for viscosity control of oil products are analysed. A necessity is grounded for development of the control devices which include measurement transducers, that don't have mobile mechanical and electromechanical elements. The variants of constructions are offered, the principle of work and advantages of the electrofluid transducers are described. The hydraulic schemes and equations of static characteristics of the balanced bridge electrofluid transducers of oil product viscosity are presented. The recommendation is given in relation to the choice of scheme variants of the bridge electrofluid transducers and the method of their balancing. The construction schemes, the construction elements, software schemes are presented in the article. It is described the principle of work of the devices for viscosity control of oil products with tracking and developing balancing.*

*Key words: devices for the viscosity control, measurement transducers, balanced bridge electrofluid transducers, tracking and balancing.*

З метою збільшення експлуатаційної надійності та продовження робочого ресурсу машин і обладнання необхідно розробляти нові методи і автоматичні засоби для вимірювання та контролю параметрів якості паливно-мастильних матеріалів в нафтопереробній промисловості, авіації, транспорті, металургії та теплоенергетиці. До основних параметрів

якості, що визначають властивості та характеризують склад й структуру нафтопродуктів, відносять в'язкість, яка займає важливе місце в системі нормованих показників палива для реактивних, газотурбінних і дизельних двигунів.

Вимірювання в'язкості є одним з найбільш трудомістких вимірювальних процесів.

Достатньо складно визначити цей параметр при контролі якості нафтопродуктів під час їхнього виробництва, транспортування й використання, особливо в умовах експлуатації рухомих апаратів при наявності вібрації та змінних за величиною і напрямком прискорень. Застосування в даних умовах ротаційних або вібраційних віскозиметрів є неможливим через наявність прецизійних механічних частин – обертових або вібраційних чутливих елементів і складності перетворювальних схем [1, 2]. Так в ротаційних віскозиметрах необхідною умовою вимірювання є стабілізація рівня рідини і положення в просторі тіл обертання та ємності з досліджуваною рідиною. Для вібраційних віскозиметрів суттєвим впливом на точність вимірювань є зовнішня вібрація та різка зміна прискорень. Тобто ці віскозиметри можна використовувати тільки стаціонарно.

Для вимірювання в'язкості нафтопродуктів широко застосовують гідродинамічні вимірювальні перетворювачі. Серед них, внаслідок простоти і надійності, найпоширенішими є мостові дросельні перетворювачі (МДП), які працюють в режимі постійної витрати [3]. У вимірювальній техніці застосовують незрівноважені та зрівноважені МДП. В перших – чутливість має максимальне значення тільки на початку вимірювального діапазону, а далі вона знижується, в інших – чутливість однакова на всьому вимірювальному діапазоні. Стан рівноваги у таких МДП досягається зміною гідравлічного опору дроселів в одному або двох протилежних плечах моста. Відомі способи зрівноваження таких МДП шляхом зміни гідравлічних опорів одного або двох регульованих дроселів механічним або електромеханічним способом не можна вважати задовільними, що пов'язано з труднощами створення дроселів з плавним регулюванням величини гідравлічного опору і стабільними характеристиками. Рівноваги в МДП можна досягти зміною витрати рідини за допомогою дозуючого насоса, що приводиться в рух керованим електроприводом [4]. Для даної системи зрівноваження також характерні вищенаведені обмеження за наявності електромеханічних елементів зрівноваження.

Отже, відомі методи і пристрої вимірювання в'язкості нафтопродуктів не задовольняють вимогам практики. Тому постає необхідність у розробленні методів та засобів вимірювання, які здатні забезпечувати необхідну чутливість і точність у виробничих умовах та на рухомих транспортних системах. Підвищення точності вимірювань та надійності пристроїв вимірювання в'язкості нафтопродуктів можуть бути досягнуті при

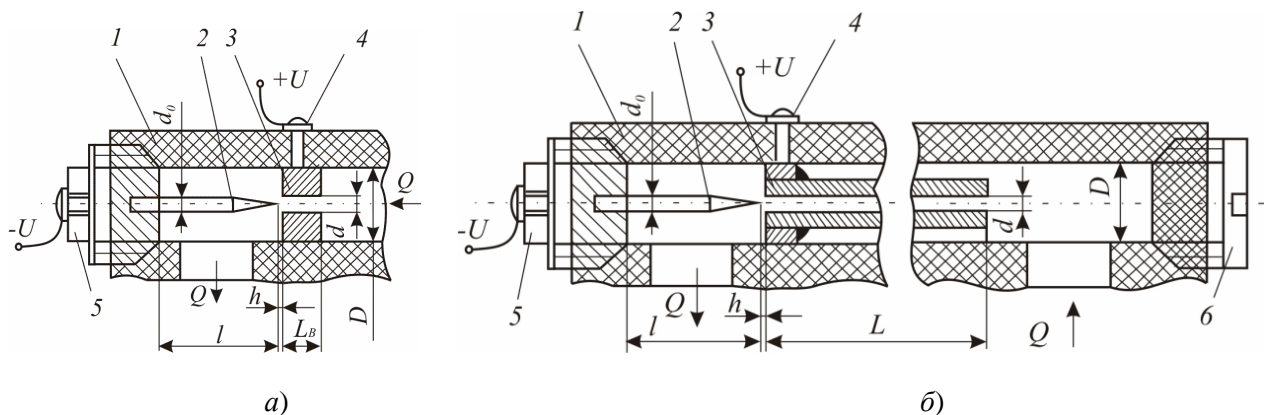
застосуванні гідродинамічного методу з використанням електрофлюїдних перетворювачів (ЕФП), які позбавлені рухомих механічних і електромеханічних елементів.

В якості регулюючого дроселя в МДП запропоновано такі варіанти конструкцій електрофлюїдних перетворювачів: голка – втулка (ЕФП-ГВ) (рис.1, а) і голка – капіляр (ЕФП-ГК) (рис.1, б). ЕФП складається з діелектричного корпусу, в гідравлічному каналі якого діаметром  $D = 5\text{мм}$  розміщені два електроди, один з яких виконаний у вигляді голки 2, наприклад, довжиною  $l = 8...10\text{мм}$ , діаметром  $d_0 = 1\text{мм}$  і радіусом заокруглення гострої частини  $r_0 = 0,03...0,5\text{мм}$  для ЕФП-ГВ, інший електрод виконаний у вигляді металевої втулки 3 довжиною  $L_B = 5\text{мм}$  і з внутрішнім отвором  $d = 1,5...2\text{мм}$ . Для ЕФП-ГК – у вигляді металевої трубки (капіляра) 3 довжиною  $L = 40...150\text{мм}$  і з внутрішнім отвором  $d = 1,5...2\text{мм}$ . Відстань  $h$  по осі між голковим та трубчастим електродами становить  $0,5...1\text{мм}$ . До голкового електрода підводиться від'ємний потенціал, а до трубчастого – додатний. Залежно від виду нафтопродукту прикладену напругу можна змінювати в межах від 4кВ до 25кВ.

При прикладанні напруги до електродів електрофлюїдного перетворювача виникає електрофлюїдний (електрогідродинамічний) ефект [5], який полягає у створенні в діелектричній рідині в різко неоднорідному електричному полі потоку заряджених елементарних об'ємів між електродами голка – проникнена площина. Даний потік рухається під дією механічних (пондеромоторних) сил в електричному полі від одного до іншого електрода, передаючи кількість свого руху навколишній діелектричній рідині. Внаслідок цього змінюється гідравлічний опір ЕФП і, відповідно, перепад тиску на ділянці ЕФП.

Отже процес перетворення електричного сигналу в гідравлічний відбувається безпосередньо, тобто без механічних або електромеханічних елементів, що є перевагою даного методу. Особливостями електрофлюїдних перетворювачів також є безшумність при експлуатації, можливість функціонування в режимі зміни положення у просторі, при вібраціях та при змінному прискоренні, функціонування при низьких температурах і мала споживана електрична потужність пристроїв на їх основі.

Результатом синтезу МДП і ЕФП є мостовий електрофлюїдний перетворювач (МЕФП), в якому стан рівноваги досягається зміною напруги на електродах ЕФП [6].



а – типу “голка – втулка”; б – типу “голка – капіляр”; 1 – діелектричний корпус; 2 – голковий електрод; 3 – втулка(трубчатий електрод); 4 – клемма для підключення додатного потенціалу; 5 – клемма для підключення від’ємного потенціалу; 6 – технологічна заглушка

**Рисунок 1 - Конструкції електрофлюїдних перетворювачів**

Залежно від виду конструкції, кількості електрофлюїдних перетворювачів, необхідних для зрівноваження МДП, і способу включення ЕФП до потоку рідини (зустрічно або узгоджено) синтезовано основні гідравлічні схеми мостових електрофлюїдних перетворювачів (табл.1) [7]:

а) чотири ламінарні дроселі (ЛД) і один ЕФП-ГВ, включений в одне із плечей гідравлічного моста (схема №1 – вид 4ЛД – 1ЕФП-ГВ);

б) два ЛД і два ЕФП-ГК, включені зустрічно до потоку рідини по одному в протилежні плечі гідравлічного моста (схема №2 2ЛД – вид 2ЕФП-ГК);

в) чотири ЛД і два ЕФП-ГВ, включені зустрічно до потоку рідини по одному в протилежні плечі гідравлічного моста (схема №3 – вид 4ЛД – 2ЕФП-ГВ);

г) чотири ЛД і чотири ЕФП-ГВ, включені зустрічно до потоку рідини і послідовно по два в протилежні плечі гідравлічного моста (схема №4 – вид 4ЛД – 2×2ЕФП-ГВ);

д) чотири ЛД і чотири ЕФП-ГВ, два з яких включені зустрічно до потоку рідини по одному в протилежні плечі гідравлічного моста, а два інших – узгоджено до потоку рідини і по одному в інші протилежні плечі (схема №5 – вид 4ЛД – 4×1ЕФП-ГВ).

Для синтезованих гідравлічних схем мостових електрофлюїдних перетворювачів аналітично описані рівняння статичних характеристик (табл.1). Рівняння статичних характеристик перетворення мостових електрофлюїдних перетворювачів є нелінійними, тому чутливість кожного з п’яти

варіантів схеми МЕФП у всьому діапазоні вимірювання не буде сталою. Значення чутливості МЕФП було визначено в роботі [8]. Визначали чутливості перетворювача в різних діапазонах напруги керування для кожного варіанту схеми МЕФП за формулою

$S_c^d = \frac{\Delta m_c^d}{\Delta U_d}$ , де  $\Delta m_c^d$  – зміна динамічної в’язкості у відповідному діапазоні напруги керування,  $\Delta U_d$  – діапазон напруги керування, індекси: С – номер варіанту схеми МЕФП, Д – номер діапазону напруги керування.

Дослідженнями встановлено, що залежно від діапазону вимірювання динамічної в’язкості діелектричних рідин буде змінюватись і діапазон високовольтної напруги, яку подають на електроди ЕФП, для зрівноваження гідравлічного моста. Тому при проектуванні пристроїв вимірювання в’язкості на основі МЕФП рекомендується вибирати схемні варіанти №2 і №3 при менших діапазонах вимірювання динамічної в’язкості, а при більших – №4, тобто з більшою кількістю ЕФП.

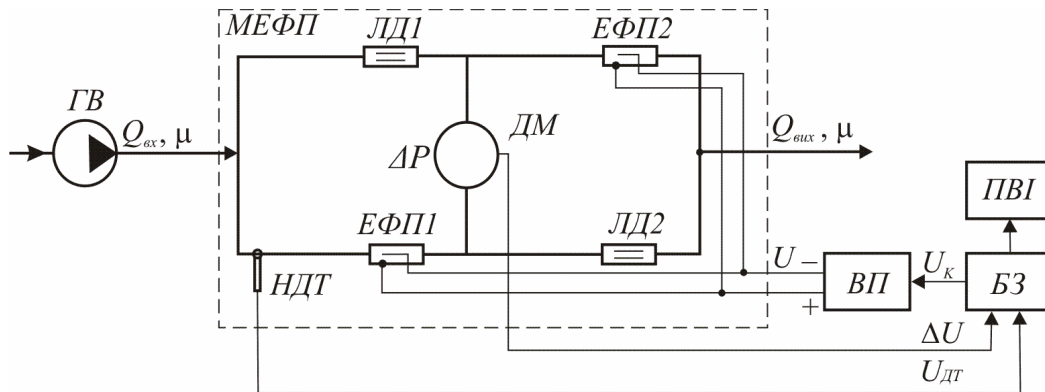
Спосіб вимірювання в’язкості нафтопродуктів полягає у неперервному пропусканні з постійною витратою через МЕФП досліджуваного нафтопродукту, зрівноваженні мостової схеми зміною гідравлічного опору або перепаду тиску в плечах моста шляхом зміни напруги на електродах ЕФП і вимірювання її значення в момент його рівноваги. За значенням напруги  $U$ , згідно статичної характеристики перетворення МЕФП (табл. 1), визначають динамічну в’язкість.

Таблиця 1 – Гідравлічні схеми та статичні характеристики перетворення МЕФП

№ схеми	Вид МЕФП	Гідравлічна схема МЕФП	Рівняння статичної характеристики перетворення МЕФП
1	4ЛД – 1ЕФП-ГВ		$m_1 = \frac{L_{ЛД2} \rho d^4 \cdot K_{ЕФП}}{128(L_{ЛД1}^2 - L_{ЛД2}^2 - L_{ЛД2} \cdot L_{ТЕ}^B)} U^n$
2	2ЛД – 2ЕФП-ГК		$m_2 = \frac{\rho d^4 \cdot K_{ЕФП}}{128(L_{ЛД} - L_{ТЕ}^K)} U^n$
3	4ЛД – 2ЕФП-ГВ		$m_3 = \frac{\rho d^4 \cdot K_{ЕФП}}{128(L_{ЛД1} - L_{ЛД2} - L_{ТЕ}^B)} U^n$
4	4ЛД – 2×2ЕФП-ГВ		$m_4 = 2 \frac{\rho d^4 \cdot K_{ЕФП}}{128(L_{ЛД1} - L_{ЛД2} - 2L_{ТЕ}^B)} U^n$
5	4ЛД – 4×1ЕФП-ГВ		$m_5 = 2 \frac{\rho d^4 \cdot K_{ЕФП}}{128(L_{ЛД1} - L_{ЛД2} - 2L_{ТЕ}^B)} U^n$

$\mu$  – динамічна в'язкість діелектричної рідини;  $d$  – внутрішній діаметр ламінарного дроселя(капіляра) і трубчатого електрода;  $L_{ЛД}$ ,  $L_{ЛД1}$ ,  $L_{ЛД2}$  – довжини ламінарних дроселів;  $K_{ЕФП}$  – конструктивний комплекс ЕФП;  $L_{ТЕ}^K$ ,  $L_{ТЕ}^B$  – довжини трубчатих електродів, відповідно, капіляра і втулки;  $U$  – напруга керування, що подається на електроди ЕФП;  $n=2,443$ .

На рис.2. зображена схема автоматичного електрофлюїдного перетворювача типу 2ЛД – 2ЕФП-ГК зі слідуючим зрівноваженням. пристрою вимірювання в'язкості нафтопродуктів на основі мостового



ГВ – генератор витрати рідини; МЕФП – мостовий електрофлюїдний перетворювач; НДТ – напівпровідниковий давач температури; ЛД1, ЛД2 – ламінарні дроселі; ЕФП1, ЕФП2 – електрофлюїдні перетворювачі; ДМ – дифманометр; ВП – високовольтний перетворювач; БЗ – блок зрівноваження; ПВІ – пристрій відображення інформації

Рисунок 2 – Структурна схема пристрою контролю в'язкості нафтопродуктів

Мостовий електрофлюїдний перетворювач типу 2ЛД – 2ЕФП-ГК є симетричним, тому розглянемо роботу його лівої частини з перетворювачем ЕФП1 і ламінарним дроселем ЛД1. Перепад тиску  $\Delta P$  у вимірювальній діагоналі МЕФП буде визначатися різницею перепадів тиску на електрофлюїдному перетворювачі ЕФП1 і ламінарному дроселі ЛД1, тобто

$$\Delta P = \Delta P_{ЛД1} - \Delta P_{ЕФП1}, \quad (1)$$

де  $\Delta P_{ЛД1}$  – перепад тиску на ламінарному дроселі ЛД1;  $\Delta P_{ЕФП1}$  – перепад тиску на електрофлюїдному перетворювачі ЕФП1.

Перепад тиску на ламінарному дроселі ЛД1

$$\Delta P_{ЛД1} = QK_{ЛД1}\mu, \quad (2)$$

де  $K_{ЛД}$  – конструктивний комплекс ламінарного дроселя ( $K_{ЛД} = \frac{128L_{ЛД}}{\rho d_{ЛД}^4}$ );

$\mu$  – динамічна в'язкість нафтопродукту;  $d_{ЛД}$  – діаметр ламінарного дроселя;  $L_{ЛД}$  – довжина ламінарного дроселя.

Перепад тиску на електрофлюїдному перетворювачі ЕФП1

$$\Delta P_{ЕФП1} = Q(k_{ТЕ}\mu + k_{ЕФП}U^{2,443}), \quad (3)$$

де  $K_{ТЕ}$  – перший конструктивний комплекс трубчатого електрода ЕФП ( $K_{ТЕ} = \frac{128L_{ТЕ}}{\rho d_{ТЕ}^4}$ );

$d_{ТЕ}$  – діаметр трубчатого електрода;  $L_{ТЕ}$  –

довжина трубчатого електрода;  $K_{ЕФП}$  – другий конструктивний комплекс ЕФП, значення якого отримують експериментально;  $U$  – напруга керування, що подається на електроди ЕФП;  $Q$  – витрата рідини через ЕФП або ЛД, яка підтримується постійною.

При зрівноваженні моста ( $\Delta P = 0$ ) маємо, що

$$\Delta P_{ЛД1} = \Delta P_{ЕФП1}. \quad (4)$$

Тоді умова рівноваги запишеться в такому вигляді:

$$k_{ЛД}\mu = k_{ТЕ}\mu + k_{ЕФП}U^{2,443} \quad (5)$$

Якщо привести вираз (5) до виду

$$U = \left( \frac{K_{ЛД} - K_{ТЕ}}{K_{ЕФП}} \mu \right)^{1/2,443}, \quad (6)$$

то очевидно, що стан рівноваги розглянутого МЕФП досягається при напрузі, яка пропорційна динамічній в'язкості нафтопродукту за умови постійної витрати.

Таким чином (6) можна записати у такому вигляді:

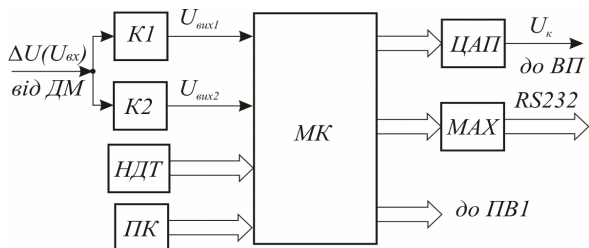
$$U = (K_M \mu)^{1/2,443}, \quad (7)$$

де  $K_M$  – постійний коефіцієнт гідралічного моста з ЕФП при  $Q = const$  ( $K_M = \frac{K_{ЛД} - K_{ТЕ}}{K_{ЕФП}}$ ).

З (7) випливає, що за значенням напруги  $U$  в

момент рівноваги визначають значення динамічної в'язкості нафтопродукту.

Блок зрівноваження БЗ слідкуючої системи (рис. 3) побудований на цифрових і аналогових мікросхемах та програмованому мікроконтролері. Доцільність застосування в блоці зрівноваження мікроконтролера обумовлена тим, що, по-перше, на основі одного і того ж мікроконтролера реалізовані системи як слідкуючого, так і розгортального зрівноваження; по-друге, за допомогою програмного забезпечення можливо змінювати закон регулювання та параметри (форму, період, швидкість) вихідної керуючої напруги; по-третє, існує можливість введення коригуючих коефіцієнтів для лінеаризації статичної характеристики пристрою контролю та приведення результатів вимірювання до заданого значення температури нафтопродуктів; по-четверте, зменшуються масогабаритні параметри, споживання електроенергії та збільшується швидкодія пристрою, порівняно з приладами, в яких застосовуються електромеханічні системи зрівноваження.



*K1, K2 – компаратори; МК – мікроконтролер PIC; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач; НДТ – напівпровідниковий датчик температури; ПК – пульт кнопочний; МАХ – драйвер RS232 зв'язку з комп'ютером*

**Рисунок 3 – Структурна схема блока зрівноваження пристрою контролю в'язкості**

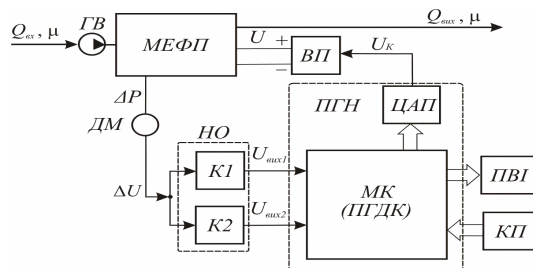
На основі структурної схеми пристрою вимірювання в'язкості зі слідкуючою системою зрівноваження (рис. 2) створено його модель в середовищі MATLAB та досліджено динамічні властивості [9]. Встановлено, що перехідний процес у пристрої вимірювання в'язкості зі слідкуючою системою зрівноваження є стійким і відповідає вимогам якості, а реакцією системи на вхідний одиничний сигнал є аперіодично затухаючим процесом. Час перехідного процесу становить 2...3с, що порівняно з існуючими вимірювальними засобами підтверджує високу швидкодію даного автоматичного пристрою вимірювання в'язкості.

В даній слідкуючій системі присутні компаратори K1 та K2, які представляють собою релейний елемент з зоною нечутливості, що, в свою чергу, робить дану систему зрівноваження

нелінійною. В таких системах слідкуючого зрівноваження (ССЗ), що мають ланки з нелінійними елементами, спостерігаються якісно відмінні явища від лінійних систем, наприклад, автоколивальні процеси, які характеризуються тим, що при певних умовах в системі виникають незатухаючі коливання сталої амплітуди і частоти. Автоколивальні процеси можуть виникнути, наприклад, при дуже різкій зміні значення в'язкості нафтопродукту в технологічному процесі, або при різкій зміні температури рідини. Мають місце і інші особливості як в усталеному, так і в перехідних процесах. Для таких випадків доцільніше застосування іншого виду зрівноваження МЕФП – розгортального.

Системи розгортального зрівноваження (СРЗ) мають ряд переваг над ССЗ. Так в СРЗ в моменти зрівноваження повністю відсутні динамічні похибки, викликані інерційністю окремих ланок приладу, їх параметри не обмежені умовами збереження стійкості. Також відпадає необхідність коректувати динамічні характеристики окремих ланок приладу для дотримання параметрів якості, таких як: час перехідного процесу, кількість коливань і перерегулювання.

Структурна схема автоматичного пристрою вимірювання в'язкості з розгортальною системою зображена на рис. 4 і працює таким чином. При включенні живлення ПГН програмно розгортає напругу  $U_K$  за заданим законом з певним періодом. В цей період високовольтна напруга  $U$  на електродах ЕФП приводить до зміни перепаду тиску у відповідних гідравлічних плечах МЕФП, що при певному значенні  $U$  або  $U_K$  зрівноважує гідравлічний міст.



*МЕФП – мостовий електрофлюїдний перетворювач; ДМ – дифманометр; ВП – високовольтний перетворювач; K1, K2 – компаратори; НО – нульовий орган; ПГН – програмований генератор напруги; МК – мікроконтролер; ПГДК – програмований генератор двійкового коду; ПВІ – пристрій відображення інформації*

**Рисунок 4 – Структурна схема електрофлюїдного пристрою контролю в'язкості з розгортальною системою зрівноваження**

Дифманометр ДМ фіксує відсутність у вимірвальній діагоналі перепад тиску  $\Delta P = 0$ , відповідно, на нуль-орган НО подається напруга  $\Delta U$ , значення якої відповідає моменту рівноваги моста. Нульовий орган перетворює напругу  $\Delta U$  з допомогою компараторів К1 і К2 у відповідний код (напруги  $U_{вих1}$  та  $U_{вих2}$ ), який дає команду через ПГН на ПВІ про відображення значення параметру в'язкості, яка пропорційна вихідній напрузі  $U_K$  ПГН або високовольтній керуючій напрузі  $U$  в моменті зрівноваження.

З метою оптимізації динамічних властивостей та статичної характеристики перетворення здійснювалось моделювання пристрою вимірювання в'язкості з розгортальною системою зрівноваження при різних законах зміни компенсаційної напруги [10]. На основі структурної схеми пристрою вимірювання в'язкості створено в середовищі MATLAB його модель. Дослідження проводились при нелінійному законі розгортання –  $U(t) = (k_1 t)^{1/n}$ , при лінійному законі розгортання –  $U(t) = k_2 t$  та при синусоїдному законі розгортання –

$$U(t) = U_m \left(1 + \sin(\omega t - \frac{P}{2})\right).$$

Визначено, що при таких законах розгортання компенсаційної напруги пристрою вимірювання в'язкості статичні характеристики перетворення мають лінійний характер і відрізняються один від одного не більше 1,5%. Встановлено, що при проектуванні пристрою вимірювання в'язкості в системі зрівноваження доцільніше використати синусоїдний закон розгортання компенсаційної напруги з періодом в межах 2...3с.

Для уникнення великих розмахів компенсуючої напруги і розмахів високовольтної управляючої напруги на електродах електрофлюїдних перетворювачів розроблена і досліджена розгортальна система зрівноваження електрофлюїдного МДП з подіапазонною зміною керуючої напруги [11]. Такий закон розгортання керуючої напруги повинен забезпечити покращення динамічних, а отже і метрологічних характеристик пристрою вимірювання в'язкості на основі електрофлюїдних перетворювачів.

На основі структурної схеми (рис. 2) сконструйовано експериментальну установку та дослідні зразки пристрою вимірювання в'язкості. Конструкція мостового електрофлюїдного перетворювача типу 2ЛД – 2ЕФП-ГК представлена на рис. 5. Блок зрівноваження технічно реалізований на основі програмованого мікроконтролера PIC16F877. На передній панелі блока зрівноваження розташовані (рис. 6): вмикач і індикатор

живлення, пристрій відображення інформації – рідкокристалічний індикатор та кнопки режимів роботи. Режими роботи такі: “пуск”(вимірювання), “приведення до  $t=20^\circ\text{C}$ ”, “контроль напруги  $U_K$ ” На ПВІ в основному режимі вимірювання відображаються поточне значення динамічної в'язкості та температури нафтопродукту.

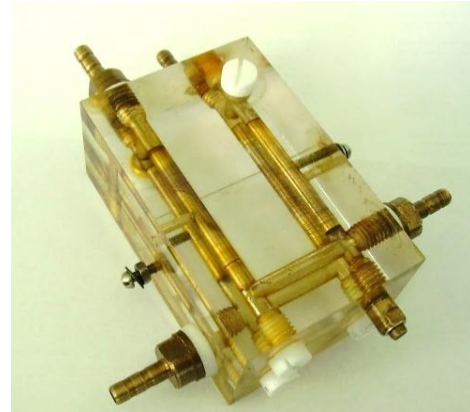
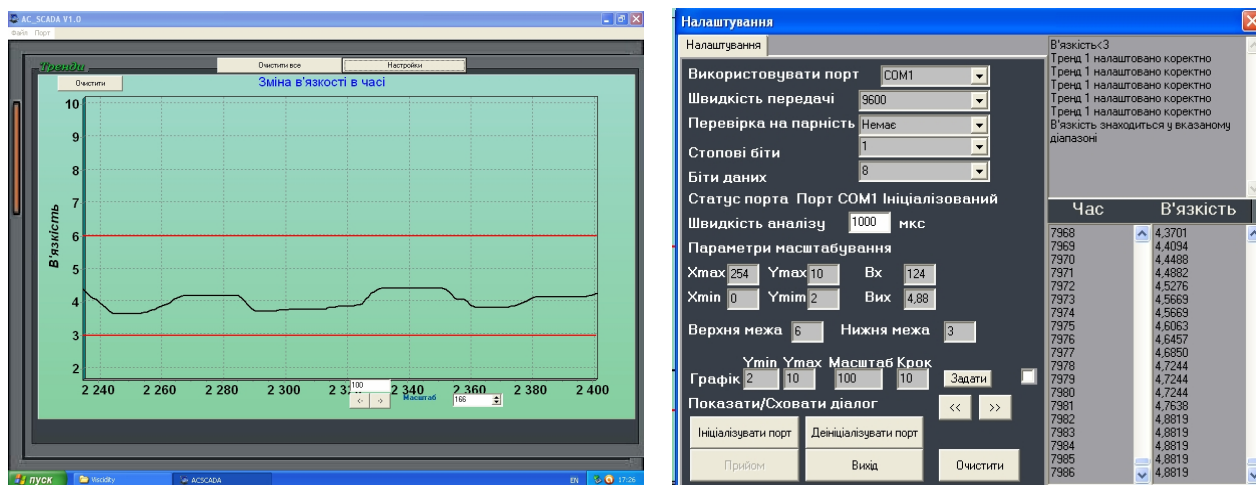


Рисунок 5 – Базова конструкція МЕФП



Рисунок 6 – Зовнішній вигляд блока зрівноваження

Відображення інформації вимірювання в'язкості в реальному часі здійснюється також через порт RS232 зв'язку з персональним комп'ютером, на монітор якого можна вивести вікна програмного забезпечення пристрою контролю в'язкості нафтопродуктів (рис. 7). У вікні виведення інформації про зміну в'язкості та меж її контролю (рис.7,а) ведеться вимірювання в'язкості нафтопродукту в заданих межах, які можна задати у вікні налаштування параметрів виведення інформації (рис.7,б) зміною числових параметрів верхньої і нижньої межі. Особливістю даного програмного забезпечення є те, що в разі виникнення адитивної похибки вимірювання, її можна усунути за допомогою зміни параметрів масштабування у вікні налаштування параметрів виведення інформації (рис.7,б).



а)

б)

а – вікно виведення інформації про зміну в'язкості та меж її контролю;  
 б – вікно налаштування параметрів виведення інформації

Рисунок 7 – Вікна програмного забезпечення пристрою контролю в'язкості нафтопродуктів

## ВИСНОВКИ

Запропоновано електрофлюїдний метод зрівноваження дросельних мостових перетворювачів вимірювання в'язкості нафтопродуктів. Проведено синтез принципово нових вимірювальних схем, що дозволило вибрати раціональну їх конструкцію. Розроблено структурну схему, конструкцію, програмне забезпечення пристрою вимірювання в'язкості, проведено дослідження пристрою з використанням електрофлюїдних перетворювачів з різними законами керування напруги, що дозволило виробити рекомендації по створенню пристроїв вимірювання в'язкості з підвищеною точністю вимірювань і швидкодією. Розроблений пристрій вимірювання в'язкості може бути використаний у складі аналізатора властивостей паливо-мастильних матеріалів, а також для неперервного вимірювання в'язкості нафтопродуктів як в стаціонарних технологічних установках, так і на рухомих транспортних засобах в різних галузях народного господарства України.

1. Розробка фазочастотного методу та засобу для підвищення точності ротаційного віскозиметра: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.11.13 / В.С. Петрушак / Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – К., 2003. – 20с. 2. Ротаційные вискозиметры с СВЧ системой

преобразования контролируемого параметра: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.11.13 / О.Ю. Кузьменко / ТГТУ – Тамбов, 2003 – 20с. 3. Пістун С.П. Газогідродинамічні вимірювальні перетворювачі на складених дросельних елементах. / Пістун С.П., Леськів Г. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" № 460, 2002, – С.81-88. 4. Древецький В.В. Інформаційно-вимірювальна система кінематичної в'язкості нафтопродуктів. / Древецький В.В. // Методи та прилади контролю якості. – 2005. – №15 – С.116-119. 5. Нагорный В.С. Электрофлюидные преобразователи / Нагорный В.С. // Л.: Судостроение. 1987. – 257с. 6. Юрчевский Е.В. Электрофлюидное уравновешивание мостовых гидродинамических преобразователей параметров жидкостей // Матер. науч.-техн. конференции "Современные научные достижения", Днепропетровск – 2006. – С.40-43. 7. Древецький В.В. Синтез електрофлюїдних перетворювачів динамічної в'язкості нафтопродуктів / Древецький В.В., Юрчевський С.В. // Вісник Інженерної академії України. – 2007. – №3,4. – С.108-112. 8. Древецький В.В. Аналіз чутливості мостових електрофлюїдних перетворювачів динамічної в'язкості нафтопродуктів / Древецький В.В., Юрчевський С.В. // Вісник Інженерної академії України. – 2011. – №2. – С.41-45. 9. Юрчевський С.В. Моделювання електрофлюїдного віскозиметра з



системою слідкуючого зрівноваження //Методи і прилади контролю якості. –2009. – №23. – С.55-59. 10.Юрчевський Є.В., Моделювання електрофлюїдного віскозиметра при різних законах зміни розгортуючої напруги /Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: Зб. наук.-практ. конф./Юрчевський Є.В., Древецький В.В. //наук. ред. О.П.Пристава. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту.– 2007. –Т.11. – С.130-141. 11.Юрчевський Є.В., Дослідження електрофлюїдного віскозиметра з подіапазонною зміною розгортуючої напруги /Юрчевський Є.В.,

Древецький В.В. //Вісник Інженерної академії України. – №3-4. – 2009. – С.70-73. 12.Юрчевський Є.В. Мікропроцесорні системи зрівноваження мостових електрофлюїдних перетворювачів в'язкості нафтопродуктів /Юрчевський Є.В.// Методи і прилади контролю якості. – 2011. – №27. – С.52-55.

**Поступила в редакцію 06.11.2012р.**

**Рекомендував до друку докт. техн. наук,  
проф. Древецький В. В.**