ISSN 1993-9981 Методи та прилади контролю якості, № 23, 2009

УДК 681.2.08

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОФЛЮЇДНОГО ВІСКОЗИМЕТРА З СИСТЕМОЮ СЛІДКУЮЧОГО ЗРІВНОВАЖЕННЯ

Є.В. Юрчевський

Національний університет водного господарства та природокористування, вул.Соборна,11, м.Рівне, 33028, тел. (8-0362) 22-21-97, e-mail: yurchev@bk.ru

Приведено структурну схему електрофлюїдного віскозиметра з системою слідкуючого зрівноваження та результати його моделювання в середовищі MATLAB. Визначені основні фактори, які впливають на статичні і динамічні характеристики такого віскозиметра.
Ключові слова: електрофлюїдний віскозиметр, гідродинамічна мостова схема, слідкуюче зрівноваження, капіляр, перепад тиску

Приведена структурная схема электрофлюидного вискозиметра с системой следящего уравновешивания и результаты его моделирования в среде MATLAB.
Ключевые слова: электрофлюидный вискозиметр, гидродинамическая мостовая схема, следящее уравновешивание, капилляр, перепад давления

The flow diagram of electrofluid viscosimeter with the system of the tracker balancing and results of his design is resulted in the environment of MATLAB.
Keywords: electrofluid viscometer-stirrer, hydrodynamic bridge chart, tracker balancing, capillary, overfall of pressure

Автоматичні віскозиметри широко використовують для вимірювання в'язкості, яка є однією з основних фізичних величин, що визначає експлуатаційні параметри нафтопродуктів, таких як автомобільні, авіаційні та інші паливно-мастильні матеріали. Для вимірювання в'язкості на потоці застосовують ротаційні, вібраційні, кулькові та пневматичні віскозиметри, застосування яких на рухомих транспортних апаратах обмежено [1]. Ці обмеження обумовлені наявністю в їх конструкціях прецизійних механічних елементів, які не можуть працювати при змінних прискореннях і вібраціях.

Для вимірювання в'язкості ньютонівських рідин в широкому діапазоні швидкостей зсуву широко застосовують гідродинамічні вимірювальні перетворювачі [2]. Серед них, внаслідок простоти і надійності, найпоширенішими є мостові дросельні перетворювачі (МДП), які працюють в режимі постійної витрати. Основним чутливим елементом таких МДП є капіляр – циліндрична трубка круглого поперечного перерізу, довжина якої перевищує діаметр в 20-50 раз. 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 в МДП можна досягти зміною витрати рідини за допомогою дозуючого насосу, що приводиться в рух керованим електроприводом [3]. Для даної системи також характерні вищенаведені обмеження.

Повністю позбавленим рухомих механічних та електромеханічних елементів є електрофлюїдний віскозиметр [4]. Його основою є мостовий електрофлюїдний перетворювач (МЕФП), в якому стан рівноваги досягається зміною напруги на електродах одного або кількох електрофлюїдних перетворювачів (ЕФП) [5]. Слід відмітити, що вони здатні функціонувати в режимі зміни положення у просторі, при вібраціях і змінному прискоренні. Зрівноваження таких МЕФП можна здійснювати спеціальними розгортальними або слідкуючими системами.

В системі розгортального зрівноваження МЕФП [6] напруга керування автоматично змінює своє значення за певний період часу в доволі широких межах – спочатку від 4 кВ до 25 кВ, а потім навпаки, від 25 кВ до 4 кВ. Такі розмахи високовольтної керуючої напруги на електродах ЕФП небажані. Оскільки великий розмах керуючої напруги протягом короткого часу приводить до різкої зміни перепаду тиску на ЕФП, що може погіршити стабільність його статичної характеристики, а також динамічні характеристики віскозиметра в цілому. Необхідно відмітити, що при вимірюванні

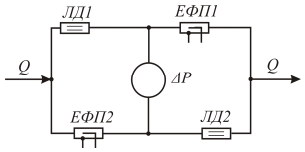
в'язкості на початку діапазону вимірювання відбувається надлишкове повне розгортання напруги керування.

Так як в'язкість рідини в технологічних процесах різко не змінюється, то вирішити проблему з обмеженням максимального розгортання напруги керування можна заміною розгортальної системи зрівноваження МЕФП на слідкуючу.

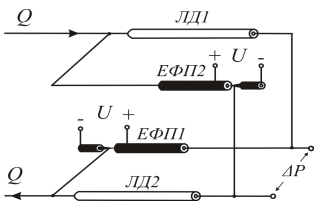
Метою даної роботи є розробка математичної моделі електрофлюїдного віскозиметра з системою слідкуючого зрівноваження, моделювання та дослідження динамічних процесів в ланках системи за допомогою програмного середовища MATLAB.

Електрофлюїдний віскозиметр побудовано на основі мостового електрофлюїдного перетворювача виду 2ЛД – 2ЕФП-ГК [5], тобто мостової гідравлічної схеми, що має два ламінарних дроселя та два електрофлюїдних перетворювачі типу голка-капіляр.

На рис. 1, *а* представлена гідравлічна схема МЕФП, а на рис. 1, *б* – зображення просторового розташування елементів МЕФП. З рисунків видно, що гідравлічна схема МЕФП є симетричною відносно вимірювальної діагоналі, в якій вимірюється перепад тиску Δ*P*. Втрати тиску від входових ефектів, які присутні на окремому капілярі – ламінарному дроселі, компенсуються за рахунок симетричності мостової гідравлічної схеми, що є перевагою даного МЕФП.



а)

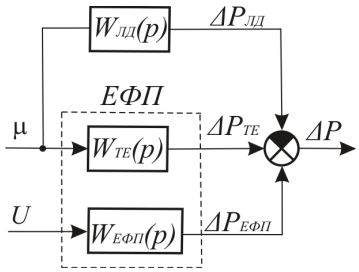


б)

а – гідравлічна схема; б – зображення просторового розташування елементів і гідравлічних каналів; U – напруга на електродах ЕФП; Q – витрата рідини; ЛД – ламінарний дросель; ЕФП – електрофлюїдний перетворювач; ΔР – перепад тиску в діагоналі моста

Рисунок 1- Мостовий електрофлюїний перетворювач виду 2ЛД – 2ЕФП-ГК

Так як МЕФП є симетричним, то представимо його спрощеною структурною схемою (рис.2), в якій відсутні передавальні функції міждросельних, вхідних та вихідних камер, що описуються ланками із запізненням. Це зумовлено тим, що відповідні камери гідравлічних каналів мають невеликі об'єми і часом запізнення в такому випадку можна знехтувати. З рис.2 видно, що перепад тиску ΔР у вимірювальній діагоналі може змінюватися за двома каналами – за каналом збурення, тобто за зміною динамічної в'язкості μ, та за каналом регулюючого впливу – за зміною напруги керування *U*.



μ - динамічна в'язкість; U - напруга керування, ЕФП – електрофлюїдний перетворювач; ΔРЛД - перепад тиску на ламінарному дроселі, ΔРТЕ - перепад тиску на трубчатому електроді; ΔРЕФП - перепад тиску, створений електрофлюїдним перетворенням, ΔР - перепад тиску у вимірювальній діагоналі; WЛД(p), WTE(p), WЕФП(p) – передавальні функції, відповідно, ламінарного дроселя, трубчатого електрода та електрофлюїдного перетворювача

Рисунок 2 - Спрощена структурна схема МЕФП

При відсутності напруги керування *U* перепад тиску Δ*P* у вимірювальній діагоналі буде залежати від значення динамічної в'язкості μ та співвідношення конструктивних параметрів ламінарного дроселя та трубчатого електрода. Для зрівноваження МЕФП подають напругу керування *U* на електроди електрофлюїдного перетворювача до встановлення співвідношення

$$\Delta P = \Delta P_{ЛД} - (\Delta P_{TE} + \Delta P_{ЕФП}),$$
$$\text{або } \Delta P_{ЛД} = \Delta P_{TE} + \Delta P_{ЕФП}, \qquad (1)$$

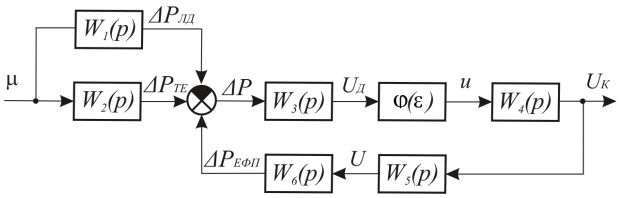
де $\Delta P_{ЛД}$ – перепад тиску на ламінарному дроселі; ΔP_{TE} – перепад тиску на трубчатому електроді; $\Delta P_{ЕФП}$ – перепад тиску, створений електрофлюїдним перетворенням; Δ*P* – перепад тиску у вимірювальній діагоналі.

З (1) визначають значення динамічної в'язкості μ за напругою керування U [4,5,6] таким чином :

$$\mu = \frac{\pi d^4 K_{ЕФП}}{128\left(L_{ЛД} - L_{TE}\right)} U^n \ , \qquad (2)$$

де $L_{ЛД}$ - довжина ламінарного дроселя; L_{TE} - довжина трубчатого електрода; n, $K_{ЕФП}$ - конструктивні комплекси ЕФП; d – діаметр трубчатого електрода і ламінарного дроселя.

Структурна схема електрофлюїдного віскозиметра з системою слідкуючого зрівноваження згідно [4] представлена на рис.3. Передавальні функції ланок системи описуються такими рівняннями: $W_1(p) = \frac{K_{ЛД}}{T_{ЛД}\,p + 1}$ – передавальна функція ламінарного дроселя; $W_2(p) = K_{TE}(T_{TE}\,p + 1)$ – передавальна функція трубчатого електрода; $W_3(p) = K_{ДМ}$ – передавальна функція дифманометра; $\varphi(\varepsilon)$ - передавальна функція компаратора (статична характеристика релейного елемента із зоною нечутливості); $W_4(p) = 1/P$ – передавальна функція генератора напруги (інтегратора); $W_3(p) = K_{ВП}$ – передавальна функція високовольтного підсилювача; $W_6(p) = \frac{K_{ЕФП}}{T_1^2\,p + T_2\,p + 1}$ – передавальна функція електрофлюїдного перетворювача.



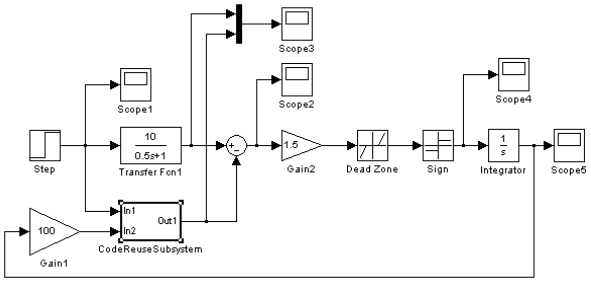
μ – динамічна в'язкість; U – напруга керуванняна електродах ЕФП; $\Delta P_{ЛД}$ – перепад тиску на ламінарному дроселі; ΔP_{TE} – перепад тиску на трубчатому електроді; ΔРЕФП - перепад тиску, створений електрофлюїдним перетворенням; ΔР – перепад тиску у вимірювальній діагоналі; $U_Д$ – вихідна напруга дифманометра; u – вихідний сигнал компаратора; U_K – напруга керування на виході інтегратора

Рисунок 3 – Структурна схема електрофлюїдного віскозиметра зі слідкуючою системою зрівноваження

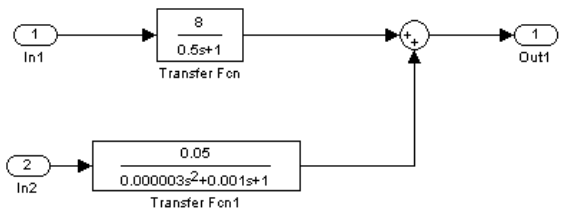
З структурної схеми віскозиметра (рис. 3) видно, що в колі прямого перетворення присутня інтегруюча ланка, передавальна функція якої $W_4(p) = 1/P$. В реальному виконанні ця ланка представляє собою мікропроцесорний генератор напруги, який збільшує або зменшує вихідну напругу залежно від знаку розбалансу МЕФП. Отже при наявності інтегруючої ланки система слідкуючого зрівноваження стає астатичною, тобто така система повинна підтримувати регульовану величину після завершення перехідного процесу на заданому рівні без будь-яких відхилень.

Особливістю даної слідкуючої системи є наявність релейного елемента із зоною нечутливості з передаточною функцією $\varphi(\varepsilon)$. В реальному виконанні ця ланка представляє собою електронний компаратор, що реагує на знак розбалансу МЕФП подачею відповідних цифрових команд на мікропроцесорний генератор напруги. Отже, при наявності релейного елемента дана слідкуюча система стає нелінійною, особливістю якої є можливість виникнення при певних умовах незатухаючих коливань сталої амплітуди і частоти, тобто виникнення автоколивальних процесів.

На основі сруктурної схеми (рис. 3) в середовищі MATLAB створенно модель електрофлюїдного віскозиметра (рис. 4).



а)



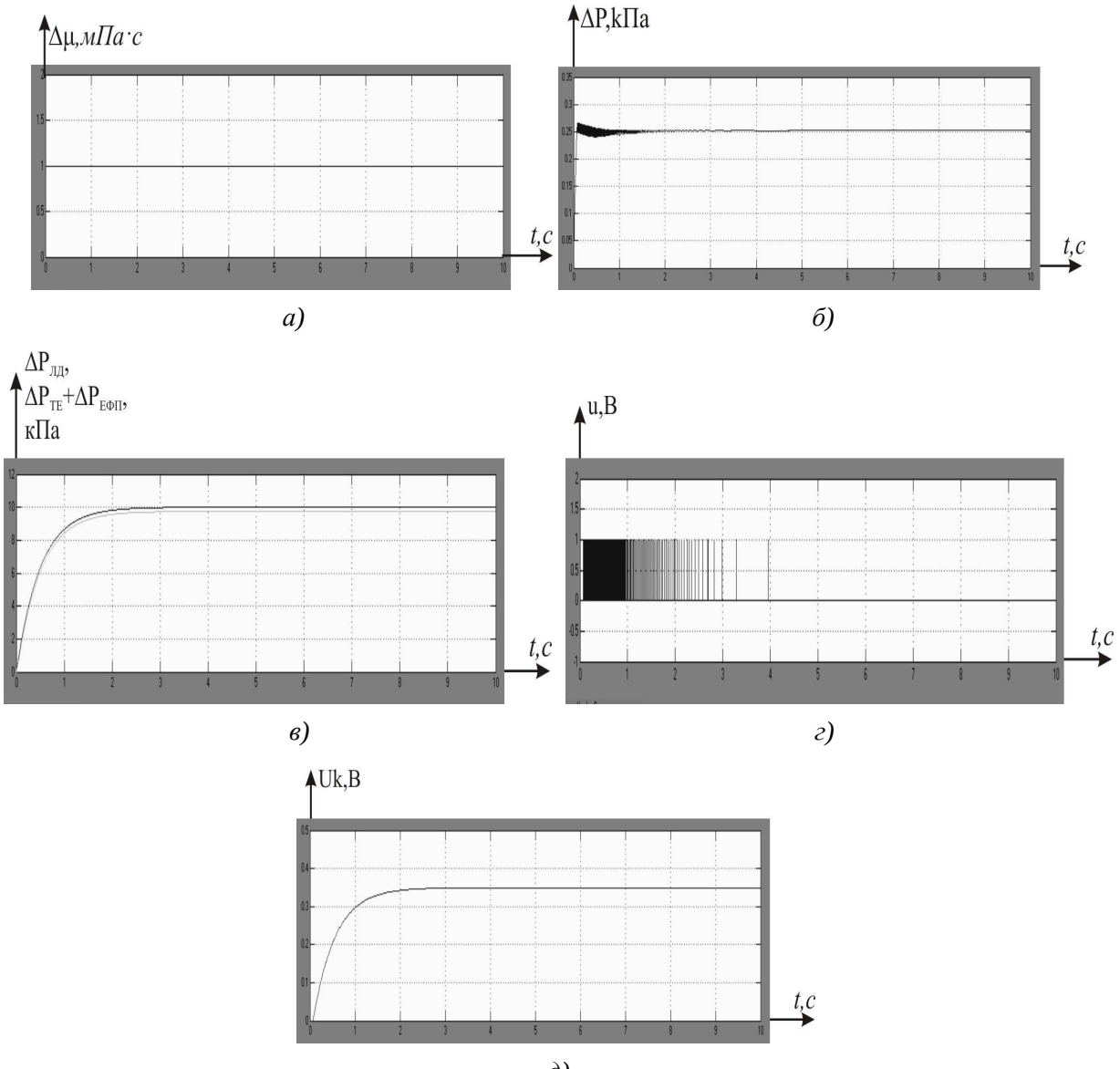
б)

а) – модель дослідження; б) – модель блока ЕФ

Рисунок 4 – Модель електрофлюїдного віскозиметра середовищі MATLAB

Для дослідження динамічних процесів в ланках електрофлюїдного віскозиметра на вхід системи було подано одиничний сигнал у вигляді ступінчатої зміни динамічної в'язкості. Реакція системи, тобто зміна вихідних параметрів ланок в часі, відображалась на блоках Scope (рис. 5, *а*). На рис.6 представлені часові діаграми досліджуваних сигналів в системі зрівноваження віскозиметра. З рис.5,*б* видно, що тиск в діагоналі моста протягом 2с мав коливний затухаючий характер, що в загальному не вплинуло на вихідні динамічні характеристики системи та її стійкість.

З часової діаграми напруги на виході інтегратора (рис. 5, *д*) видно, що перехідний процес у віскозиметрі є стійким і відповідає вимогам якості, тобто реакцією системи на вхідний стрибкоподібний сигнал є аперіодично затухаючий процес. Час перехідного процесу становить 3–4с, що порівняно з існуючими вимірювальними засобами підтверджує високу швидкодію даного автоматичного віскозиметра.



а) *б)* *в)* *г)* *д)*

а) – ступінчата зміна вязкості (Scope1); б) – тиск в діагоналі моста (Scope2); в) – перепад тисків на ламінарному і електрофлюїдному перетворювачах (Scope3); г) – стан компаратора (Scope4), д) – напруга на виході інтегратора (Scope5)

Рисунок 5 – Часові діаграми досліджуваних сигналів

ВИСНОВКИ

Шляхом підбору коефіцієнтів підсилення підсилювальних ланок та налагодження зони нечутливості компаратора (нелінійного елемента) слідкуючої системи зрівноваження електрофлюїдного віскозиметра динамічної в'язкості можливо досягти її стійкості. Це дозволяє уникнути великих розмахів високовольтної керуючої напруги на електродах електрофлюїдних перетворювачів, що забезпечує покращення динамічних, а отже і метрологічних характеристик такого електрофлюїдного віскозиметра.

1. Автоматическое измерение вязкости нефтепродуктов / В.В.Древецкий, Б.В.Цибульский, А.П.Яцук, Л.М.Ткачева - М.: ЦНИИТЭ нефтеперабатывающей и нефтехимической промышлености, 1987 - 64 с. 2. Пістун Є.П. Моделювання газогідродинамічних вимірювальних перетворювачів на мостових дросельних схемах із постійною витратою / Є.П. Пістун, Г. Крих, Г. Леськів // Методи та прилади контролю якості. – 2003. –№10. – С. 87-89. 3. Древецький В.В. Інформаційно-система кінематичної вязкості нафтопродуктів / В.В.Древецький // Методи та прилади контролю якості.– 2005.– №15.–С.116-119. 4. Древецький В.В. Електрофлюїдний давач динамічної в'язкості діелектричних рідин / В.В Древецький, Є.В. Юрчевський // Методи та прилади контролю якості.– 2005.–№15.– С.120-122. 5.Древецький В.В.. Синтез електрофлюїдних перетворювачів динамічної вязкості нафтопродуктів / В.В Древецький, Є.В. Юрчевський // Вісник Інженерної академії України. – 2007 – С. 108-112. 6. Юрчевський Є.В. Моделювання електрофлюїдного віскозиметра при різних законах зміни розгортуючої напруги / Є.В. Юрчевський, В.В Древецький // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць [наук. ред. О.П.Приставка]. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2007.-Т.11. – С.130...141.

Поступила в редакцію 17.11.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Кованько В.В.