

УДК 621.327

ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ РОТАЦІЙНИМ ЕКСПРЕС-ВІСКОЗИМЕТРОМ

© Іван Троцишин, Володимир Петрушак, 2002

Технологічний університет Поділля, кафедра "Проектування та конструювання радіоелектронних засобів", вул. Інститутська, 11, 29016, Хмельницький, Україна

Запропоновано структурну схему ротаційного експрес-віскозиметра з коректним встановленням тривалості вимірювання. Розглянуто вплив систематичної (інструментальної) похибки на результати вимірювання в'язкості та запропоновано спосіб її врахування в ротаційному експрес-віскозиметрі.

Розглянуто причини виникнення методичної похибки при вимірюванні в'язкості фазочастотним методом.

Предложена структурная схема ротационного экспресс-вискозиметра с корректной установкой времени измерения. Рассмотрено влияние систематической (инструментальной) погрешности на результаты измерения вязкости и предложен способ её учета в ротационном экспресс-вискозиметре. Рассмотрены причины появления методической погрешности при измерении вязкости фазочастотным методом.

The block diagram the rotation express-viscometer with correct installation of time measuring is proposed. Influencing systematic (tool) inaccuracy on outcomes of measuring of toughness is reviewed and the way for registration it in a rotation express - viscometer is proposed. The reasons of appearance for methodical inaccuracy are reviewed at measuring toughness by phase-frequency method.

Досліджуючи в'язкість крові та спинномозкової речовини засобами експрес-аналізу, велику увагу приділяють таким параметрам, як тривалість вимірювання та похибка вимірювання. Відповідно час, протягом якого вимірюється в'язкість рідини, є показником швидкості вимірювання відповідним ротаційним віскозиметром, а загальна похибка вимірювання є характеристикою точності отриманих результатів. Проаналізувавши принцип роботи ротаційних віскозиметрів,

встановлено, що тривалість вимірювання в'язкості встановлюється оператором емпірично. Оскільки такий підхід не досить ефективний з погляду експрес-аналізу в'язкості рідини, то пропонується автоматичне встановлення часу вимірювання за допомогою кодокерованого частотного компаратора, який формує сигнал про закінчення вимірювання в'язкості рідини. Структурна схема такого ротаційного експрес-віскозиметра наведена на рис. 1.

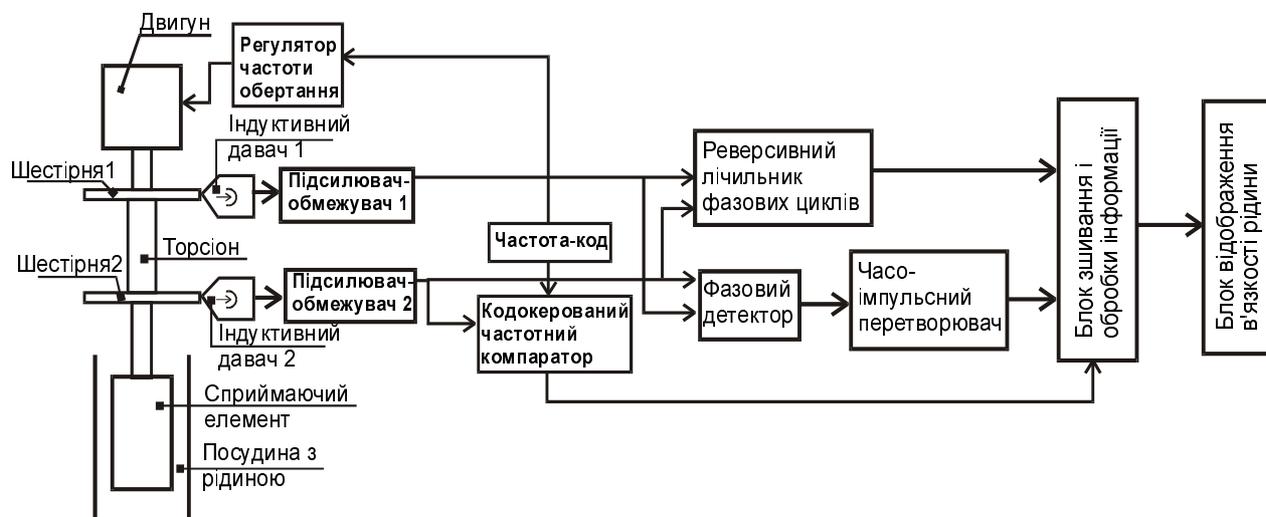


Рис. 1. Структурна схема ротаційного експрес-віскозиметра

Принцип роботи ротaційного експрес-віскозиметра з торсіометричним перетворювачем можна пояснити, розглянувши рис. 2. Вимірювання в'язкості починається з моменту $t = 0$ і закінчується при встановленні $\omega_2(t) = \omega_0$, коли кодокерований частотний компаратор видає сигнал про закінчення вимірювання в'язкості речовини.

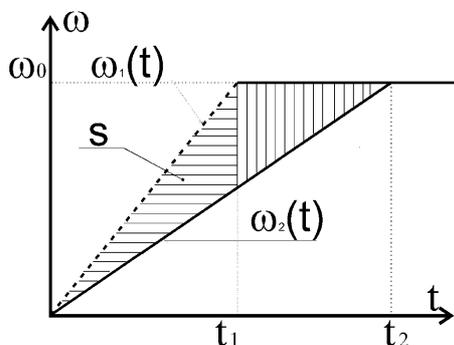


Рис. 2. Залежність частоти сигналів від часу на виході індуктивних давачів 1 і 2

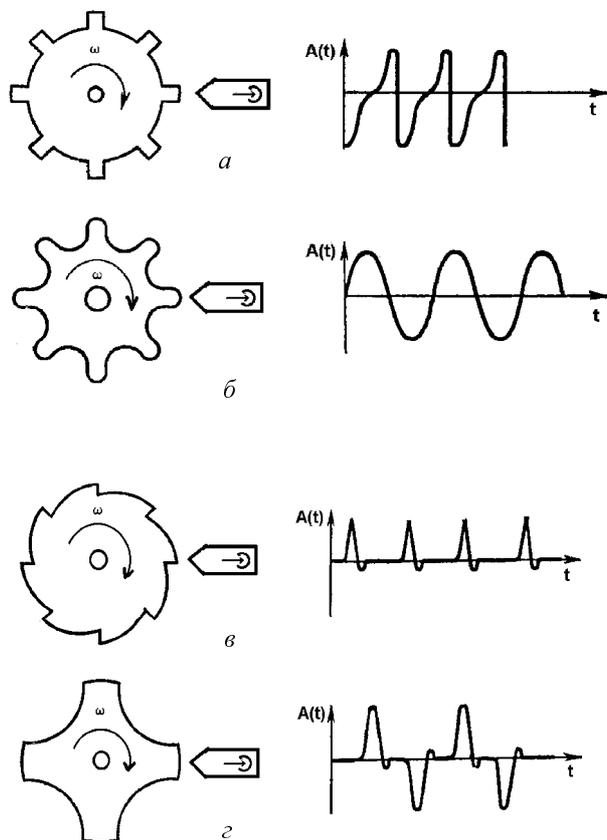


Рис. 3. Типові форми вихідних сигналів вхідних перетворювачів

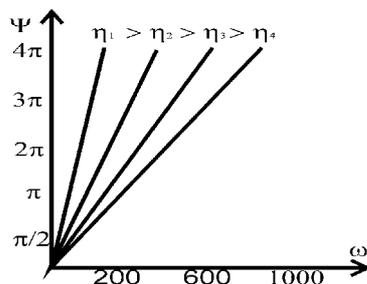


Рис. 4. Фазочастотна залежність в'язкості ньютонівської рідини

Як індуктивні давачі у таких ротaційних експрес-віскозиметрах пропонується використовувати систему: феромагнетне зубчасте колесо – магнетна головка [1]. Як видно з рис. 3, б, лише шестірня із закругленим профілем зубців дає сигнал синусоїдальної форми, який є найпридатніший для роботи фазочастотного перетворювача.

В'язкість у таких ротaційних експрес-віскозиметрах залежить від зміни повного фазового зсуву між частотами $-\omega_1(t)$ та $\omega_2(t)$ – на інтервалі $[0, t_2]$ як це показано на рис.4. Зміна повного фазового зсуву, як це показано в [2], відбувається за таким законом:

$$\Psi(\omega, t) = \iint_s d\omega dt \tag{1}$$

Визначення повного фазового зсуву за час t_2 фазочастотним перетворювачем відбувається згідно із залежністю:

$$\Psi(\omega, t) = Int \left[\frac{2 \cdot \pi}{n} \cdot N_{\phi\psi} \right] + Fr \left[\frac{2 \cdot \pi}{n} \cdot \frac{N_i}{N_{i\phi\psi}} \right], \tag{2}$$

де $N_{\phi\psi}$ – кількість фазових циклів; N_i – кількість імпульсів на виході фазочастотного детектора у межах фазового циклу; $N_{i\phi\psi}$ – кількість імпульсів квантування в фазовому циклі.

В'язкість рідини в такому ротaційному експрес-віскозиметрі на інтервалі $[0, t_2]$ визначається як:

$$\eta = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}{k \cdot n \cdot \omega_0} \cdot \left[N_{\phi\psi} + \frac{N_i}{N_{i\phi\psi}} \right], \tag{3}$$

де R – геометрична стала сприймаючого елемента; C – жорсткість торсіона; ω_0 – постійна кругова частота оберту торсіона; n – кількість зубців на феромагнетній шестірні; $k \leq 1$ – коефіцієнт, що залежить від форми $\omega(t)$, значення якого для частот $\omega_1(t)$ і $\omega_2(t)$ наведено в таблиці.

Залежність коефіцієнта k від форми $\omega(t)$

k	$\omega_1(t)$	$\omega_2(t)$
0,5	$\omega_0 \cdot \frac{t}{t_1}$	$\omega_0 \cdot \frac{t}{t_2}$
$\frac{n}{n+1}$	$\omega_0 \cdot \left(\frac{t}{t_1}\right)^n$	$\omega_0 \cdot \left(\frac{t}{t_2}\right)^n$
0,3	$\omega_0 \cdot \left(e^{\frac{t}{t_1}} - 1\right)$	$\omega_0 \cdot \left(e^{\frac{t}{t_2}} - 1\right)$
0,36	$\omega_0 \cdot \sin\left(\frac{t}{t_1} \cdot \frac{\pi}{2}\right)$	$\omega_0 \cdot \sin\left(\frac{t}{t_2} \cdot \frac{\pi}{2}\right)$

Значний вплив на результати вимірювання в'язкості має систематична інструментальна похибка, яка зумовлена інерцією механічної системи ротаційного експрес-віскозиметра. Вплив систематичної інструментальної похибки на результати вимірювання в'язкості можна пояснити, розглянувши рис. 5.

У такому випадку, систематична інструментальна похибка прямо пропорційна до зміни повного фазового зсуву на інтервалі Δt . Зміна повного фазового зсуву на інтервалі Δt визначається як:

$$\Delta\Psi(\omega, \Delta t) = \int_0^{t_1+\Delta t} \omega_2(t) dt - \int_0^{t_1} \omega_1(t) dt - \int_0^{t_1+\Delta t} \omega_0 dt. \quad (4)$$

Або, як це видно з рис.5, зміна повного фазового зсуву дорівнює площі S_1 і її можна визначити як:

$$\Delta\Psi(\omega, \Delta t) = \iint_{S_1} d\omega dt. \quad (5)$$

Якщо зміна частоти сигналу буде мати лінійний характер, тобто $\omega_1(t) = \omega_0 \cdot \frac{t}{t_1}$ на інтервалі $[0; t_1]$, а

$\omega_2(t) = \omega_0 \cdot \frac{t}{t_1 + \Delta t}$ на інтервалі $[0; t_1 + \Delta t]$, то

$$\Delta\Psi(\omega, \Delta t) = \frac{\omega_0}{2} \cdot \Delta t.$$

Тоді систематична похибка вимірювання в'язкості буде визначатись за формулою:

$$\Delta\eta(\Delta\Psi) = \frac{R \cdot C}{k \cdot \omega_0} \cdot \Delta\Psi(\omega, \Delta t), \quad (6)$$

де $k \leq 1$ – коефіцієнт, що залежить від зміни частоти сигналу, з таблиці залежності коефіцієнта k від форми $\omega(t)$, якщо $t_2 = t_1 + \Delta t$.

Тому пропонується спосіб урахування систематичної інструментальної похибки, спричиненої інерційністю механічної системи ротаційного експрес-віскозиметра (рис. 6).

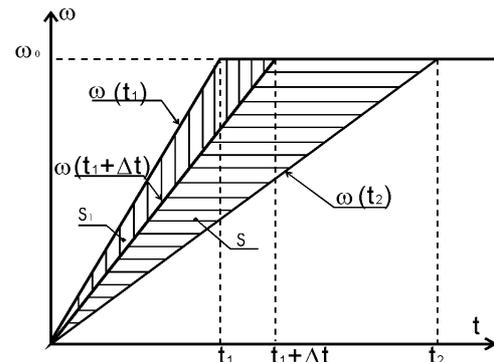


Рис. 5. Зміна повного фазового зсуву залежно від систематичної похибки



Рис. 6. Спосіб врахування систематичної похибки ротаційного експрес-віскозиметра

Зокрема, на точність вимірювання в'язкості ротаційним експрес-віскозиметром впливає точність встановлення та стабільність періоду тривалості вимірювання. При вимірюванні в'язкості фазочастотним методом вимірювання є прив'язаними до нуля - переходів вхідних сигналів. Старт- і стоп-імпульси, сформовані інтервалом $T_{ВИМ}$, у цьому випадку будуть випадково розміщені відносно нуля-переходів вхідних сигналів, що призводить до методичної похибки вимірювання в'язкості, зумовленої некратністю періодів вхідних сигналів з часовим інтервалом $T_{ВИМ}$, яка призводить до затримки початку вимірювання повного фазового зсуву відносно старт- і стоп-імпульсів.

Максимальне значення цієї затримки дорівнює періоду вхідних сигналів:

$$T_{ЗТР} = T_{ЗТР2} - T_{ЗТР1} = \pm T_{ВХ}. \quad (7)$$

Зважаючи, що затримки $T_{ЗТР1}$ та $T_{ЗТР2}$ мають рівномірні несиметричні закони розподілу, сумарна затримка буде розподілена за трикутним законом Сімсона. Тоді СКВ та середнє значення загальної затримки будуть:

$$T_{ЗТРCP} = \int_0^{T_{ВХ}} T_{ЗТР} p(T_{ЗТР}) dT_{ЗТР} = 0; \quad (8)$$

$$\sigma_{T_{ЗТР}} = \sqrt{2 \int_0^{T_{ВХ}} T_{ЗТР}^2 p(T_{ЗТР}) dT_{ЗТР}} = \sqrt{2 \int_0^{T_{ВХ}} 1/T_{ВХ} (1 - \frac{T_{ЗТР}}{T_{ВХ}}) T_{ЗТР}^2 dT_{ЗТР}} = \frac{T_{ВХ}}{\sqrt{6}}. \quad (9)$$

Затримку $T_{ЗТР1}$ можна усунути синхронізацією старт-імпульсу з найближчим нуль-переходом вхідного сигналу з точністю до періоду імпульсів квантування $T_{КВ}$, оскільки здійснити синхронізацію імпульсів квантування з частотою вхідних сигналів неможливо. У такому разі максимальне значення затримки $T_{ЗТР1} = T_{КВ}$,

закон її розподілу є рівномірним $P(T_{ЗТР1}) = 1/T_{КВ}$, а отже, СКВ та середнє значення цієї затримки будуть дорівнювати:

$$T_{ЗТР1} = \int_0^{T_{КВ}} T_{ЗТР1} p(T_{ЗТР1}) dT_{ЗТР1} = \frac{T_{КВ}}{2};$$

$$\sigma_{T_{ЗТР1}} = \sqrt{\frac{1}{T_{КВ}} \int_0^{T_{КВ}} T_{ЗТР1}^2 dT_{ЗТР1}} = \frac{T_{КВ}}{2\sqrt{3}}. \quad (10)$$

Максимальне значення затримки $T_{ЗТР2} = T_{ВХ}$. Це значення також має рівномірний закон розподілу в межах від 0 до $T_{ВХ}$, тобто $P(T_{ЗТР2}) = 1/T_{ВХ}$, СКВ та середнє значення цієї затримки будуть дорівнювати:

$$T_{ЗТР2} = \int_0^{T_{ВХ}} T_{ЗТР2} p(T_{ЗТР2}) dT_{ЗТР2} = \frac{T_{ВХ}}{2};$$

$$\sigma_{T_{ЗТР2}} = \sqrt{\frac{1}{T_{ВХ}} \int_0^{T_{ВХ}} T_{ЗТР2}^2 dT_{ЗТР2}} = \frac{T_{ВХ}}{2\sqrt{3}}. \quad (11)$$

Зважаючи, що величини $T_{ЗТР1}$ та $T_{ЗТР2}$ є незалежними, СКВ загальної затримки буде дорівнювати:

$$\sigma_{T_{ЗТР}} = \sqrt{\left(\frac{T_{КВ}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{T_{ВХ}}{2\sqrt{3}}\right)^2}. \quad (12)$$

Оскільки $T_{ВХ} \gg T_{КВ}$, то можна з високим ступенем достовірності записати:

$$T_{ЗТР MAX} \approx T_{ВХ}; \quad (13)$$

$$T_{ЗТР CP} \approx \frac{T_{ВХ}}{2}; \quad (14)$$

$$\sigma_{T_{ЗТР}} = \frac{T_{ВХ}}{2\sqrt{3}}. \quad (15)$$

1. Троцишин І.В. Застосування фазочастотних методів для високоточної торсіометрії валів, що обертаються // Проблеми легкої та текстильної промисловості України. – 1999. – №2. – С.197-200. 2. Петрушак В.С. Фазочастотне представлення вимірювань в'язкості ротаційним віскозиметром з торсіометричним перетворювачем // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – №4. – С.87-90.