

Й.І. СТЕНЦЕЛЬ, д-р. техн. наук, проф., ТІ СНУ ім. В. Даля,
О.І. ШАПОВАЛОВ, асп., ТІ СНУ ім. В. Даля

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ МАГНІТОСТРИКЦІЙНОГО ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ

У роботі наведено результати експериментальних досліджень форми ультразвукових сигналів магнітострикційного засобу контролю рівня рідини. Показано, що ультразвукові сигнали, які формуються таким засобом, можуть мати різну частоту й форму, індивідуалізовані, що призводить до появи похибок вимірювання як при налагоджувальних, так і ремонтних роботах.

The results of experimental researches of ultrasonic signals form of magnetostrictive control level of liquid are resulted in the work. It is shown that ultrasonic signals which are formed such mean can have different frequency and form, individualized, that results in appearance of measuring errors both at adjusting and repairs works.

Вступ. Відомі магнітострикційні засоби контролю (МСЗК) рівня рідинних середовищ [1], які працюють за принципом вимірювання часу проходження ультразвуковим сигналом (УЗС) відстані від контролюючої поверхні до приймача УЗС та визначенні рівня за часом проходження ультразвуку. Рекламна точність вимірювання складає 1 мм. Вказується, що магнітострикційні рівнеміри можуть використовуватися при температурах від мінус 40⁰С до плюс 122⁰С. Як правило, МСЗК випускаються зарубіжними фірмами для контролю рівня рідин в ємностях, трубах та інших технологічних апаратах при температурі від -4⁰С до 122⁰С для вимірювання рівня різноманітних органічних рідинних середовищ і води при температурі від 0⁰С до 122⁰С. Теоретичних та експериментальних досліджень магнітострикційного методу контролю у зарубіжній і вітчизняній науковій літературі надзвичайно мало і в основному вони стосуються дослідженню таких магнітострикційних параметрів як коефіцієнт магнітомеханічного зв'язку k , динамічної магнітострикційної сталості α , відносної магнітної проникності μ , магнітострикційного насичення λ_S і деяким іншим.

Враховуючи достатньо високу рекламну точність вимірювання рівня рідинних середовищ і нечутливість до зміни хімічного складу рідинного й газового середовищ, магнітострикційні прилади та системи стали широко використовуватися на відчизнянних підприємствах. Особливо широке використання вони отримали для контролю рівня нафтопродуктів як на нафтопереробних заводах, так і на бензинозаправних станціях.

Постановка задачі. При державних повірках госпрозрахункових систем і приладів, заснованих на магнітострикційних методах вимірювання,

установлено, що МСЗК більшості зарубіжних фірм мають достатньо низьку точність вимірювання рівня, яка не відповідає вказаній в технічній документації (1 мм) і досягає від 5 до 10 мм, значне середнє квадратичне відхилення серії вимірювань, значну залежність від зміни температури навколишнього середовища тощо.

Задача полягає в теоретичному та експериментальному визначенні факторів, які впливають на метрологічні характеристики МСЗК і розробці методів зменшення їх впливу.

Основна частина. Суть роботи МСЗК полягає в наступному (див. рис. 1). Захисна трубка, в якій знаходиться розміщена по центру і натягнута стрічка зі магнітострикційного матеріалу (нікель, сплави пермендюр, афер, НІКОСІ або інші [2]) розміщується вертикально в резервуар або апарат чи трубу з рідинним середовищем. На трубку у вигляді вільного кільця розміщується поплавков, який плаває на поверхні рідини. Всередині поплавок знаходиться постійний магніт круглої форми, магнітне поле якого охоплює магнітострикційну стрічку. Якщо подати імпульс електричної енергії на магнітострикційну стрічку, то при проходженні його по цій стрічці навколо неї створюється електричне поле. При досягненні цим полем магнітного поплавка електричне поле стрічки взаємодіє з магнітним полем постійного магніту поплавка, в результаті чого в стрічці проходять реологічні переходи доменів, що призводить до появи імпульсу ультразвукових коливань [3]. Останні розповсюджуються по магнітострикційній стрічці, досягають приймача таких коливань і перетворюються в ньому в електричний ультразвуковий сигнал (УЗС).

Експериментальні дослідження виконувалися за наступною методикою. Використовувалися магнітострикційні перетворювачі (МСП) з різними довжинами $H = 0,5; 1; 2; 3 \text{ м}$, з силовими натягами $P = 5, 10, 15, 20, 25 \text{ кгс/см}^2$ і виготовленими з матеріалів: нікель і пермендюр; товщина магнітострикційної стрічки складала 0,1 мм, а ширина складала 1, 2 і 3 мм. В експериментальну установку встановлювався відповідний МСП, підключався блок живлення та сприймання УЗС (БЖС), установлювався рівень рідини (води), до блоку БЖС підключався швидкодіючий цифровий осцилограф, сигнал якого відображався на моніторі та записувався в пам'ять системи відображення. Для заданої довжини МСП H рівень рідини змінювався в наступних межах: 0, 20, 40, 60, 80, 100%. Задання рівня рідини та його вимірювання здійснювалися з допомогою оптичної лінійки з точністю 0,1 мм. При цьому в першу чергу знімалися осцилограми УЗС придбаних у фірм-виробників магнітострикційних рівнемірів; параметри блоку БЖС не змінювалися й залишалися такими, як при їх випуску. Контроль рівня рідинного середовища здійснювався за проміжком часу t від моменту подачі електричного збуджуючого сигналу до моменту сприйняття УЗС вимірювальною схемою.

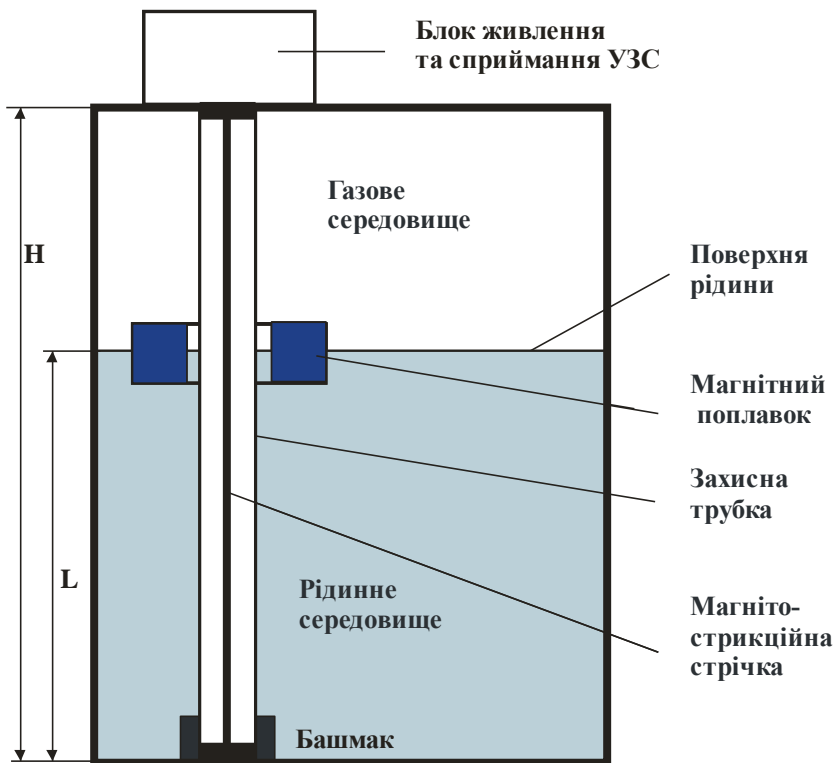


Рис. 1. Схема розміщення магнітострикційного засобу при контролі рівня рідини

У результаті обробки осцилограм установлено, що форми УЗС (загинаючою пакету ультразвукових коливань) чожна розділити на чотири типи (див. рис. 2): з прямокутним переднім фронтом $\alpha = 90^{\circ}$ (рис. 2, а); з рівномірно наростаючим переднім фронтом $\alpha > 90^{\circ}$ (рис. 2, б); з увігнутим переднім фронтом (рис. 2., в) і з S -подібним переднім фронтом (рис. 2, г). Як правило, задній (загасаючий) фронт УЗС суттєво не змінювався не залежно від МСП. У залежності від матеріалу МСП і механічного його натягу частота електромагнітних коливань може змінюватися в достатньо широких межах. Результати експериментальних досліджень МСП показали, що МСЗК, які не використовуватися для вимірювання рівня в промислових умовах (після їх виготовлення та налагодження на фірмі-виробнику), як правило, мають осцилограми, котрі близькі до форми, показаної на рис. 2, а. МСКП, які експлуатувалися у промислових умовах більше 1 року (засоби контролю, які поступали на періодичну повірку в органи Держстандарту), мали осцилограми з наростаючим переднім фронтом сигналу (рис. 2, б). Форми

осцилограм, які показані на рис. 2, є, як правило, є характерними для МСЗК, які підлягали ремонту, при якому змінювалася магніострикційна стрічка на аналогічну, виготовлену з такого ж матеріалу. Осцилограми, які показані на рис. 2, з, як правило, характерні для МСЗК, які тривалий час використовувалися в експлуатації і магніострикційна стрічка характеризується механічною втомленістю (природною зміною структури доменів, наприклад при роботі МСЗК у середовищах з високою температурою).

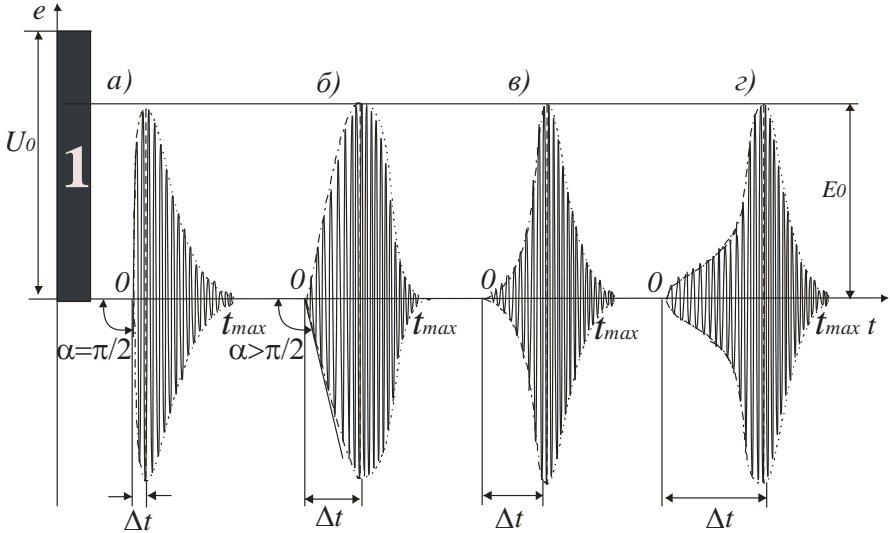


Рис. 2. Форми пакетів УЗС, які можуть формуватися і МСЗК

Експериментальні графіки передніх фронтів огинаючих пакетів ультразвукових коливань МСЗК показані на рис. 3 (крива 1 відповідає пакету рис. 2, а; крива 2 – пакету рис. 2, б; крива 3 – пакету рис. 2, в; крива 4 – пакету рис. 2, г). Аналізуючи криві перехідних процесів МСЗК (огинаючі), можна зробити наступні висновки. Криві 1 і 2 є достатньо близькими до експонент з різними сталими часу T . У першому наближенні такі криві можна описати перехідною функцією аперіодичної динамічної ланки першого порядку

$$T \frac{de}{dt} + e = kU_0, \quad (1)$$

де k - коефіцієнт передачі МСЗК; U_0 - амплітуда збуджуючого електричного сигналу.

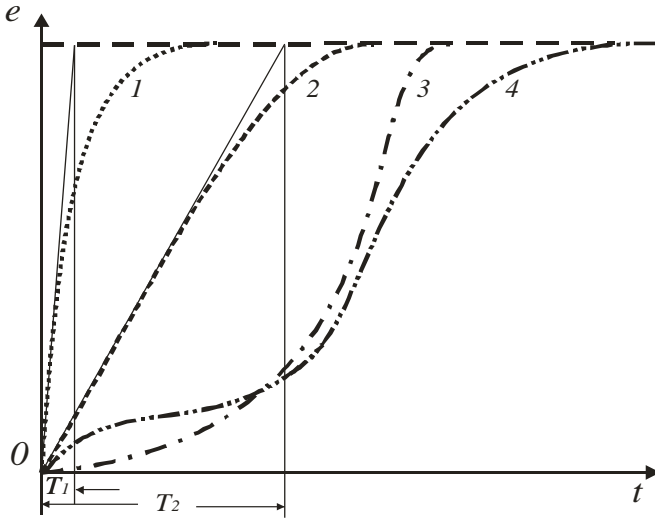


Рис. 3. Форми огинаючі пакетів УЗС

Виходячи з теорії реологічних переходів [4], можна зробити висновок, що в таких перетворювачах має місце одностадійне реологічне перетворення, яке структурно можна подати аперіодичною динамічною ланкою першого порядку (див. рис. 4, а). Крива 3 має S-подібний характер, яка може бути описана диференціальним рівнянням високого порядку вигляду

$$T_n^n \frac{d^n e}{dt^n} + T_{n-1}^{n-1} \frac{d^{n-1} e}{dt^{n-1}} + \dots + T_2^2 \frac{d^2 e}{dt^2} + T_1 \frac{de}{dt} + e = kU_0, \quad (2)$$

де $T_1, T_2, \dots, T_{n-1}, T_n$ - сталі часу.

У першому наближенні такий перехідний процес можна апроксимувати методом квадратур [5] диференціальним рівнянням другого порядку з деякими новими сталими часу ξ_1 і ξ_2

$$\xi_2^2 \frac{d^2 e}{dt^2} + \xi_1 \frac{de}{dt} + e = kU_0. \quad (3)$$

Як видно з графіка 3 перехідний процес є усталеним, а значить відношення $\xi_1 / \xi_2 > 2$. Такий процес характеризується двома або більше реологічними переходами, які можуть мати місце в магніострикційному перетворювачі. Формально такий процес являє собою послідовне з'єднання аперіодичних динамічних ланок першого порядку (див. рис. 4, б).

Графік 4 на рис. 3 має складний характер, що свідчить про наявність послідовно-паралельних реологічних переходів (див. рис. 4, в). Такі переходи можуть бути обумовленими змінами структури доменів реологічних переходів, термодформаційними змінами перетворювача, зміною таких

характеристик як коефіцієнт магніто механічного зв'язку k , динамічної магнітострикційної сталості α , відносної магнітної проникності μ , магнітострикційного насичення λ_s , коерцитивної сили тощо. Такі процеси реологічних перетворень описуються складними нелінійними диференціальними рівняннями.

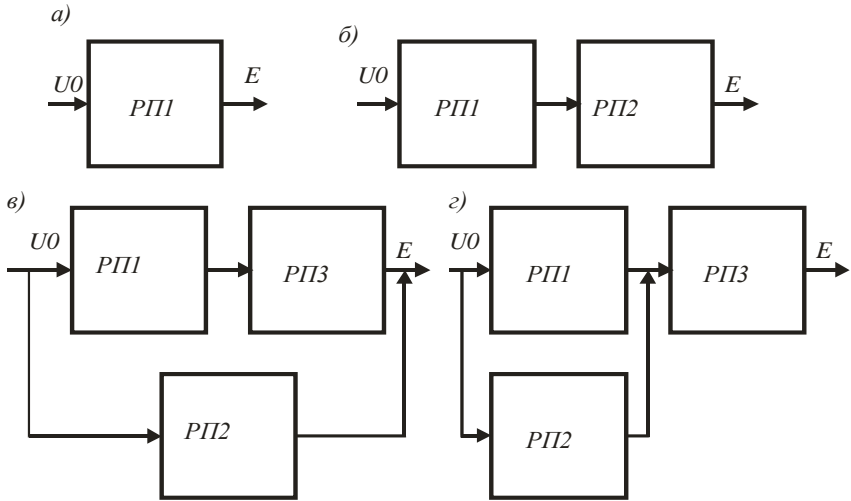


Рис. 4. Структурні схеми реологічних перетворень (PI)

Висновки. Вперше експериментально досліджені форми пакетів УЗС, які створюються магнітострикційними перетворювачами рівня рідинних середовищ. У результаті аналізу встановлено, що УЗС за формою їх переднього фронту можна розділити на чотири групи. Приводиться аналіз кожної групи УЗС та можливі форми їх математичного описання і структурного зображення. Указується, що зміна характеру форми УЗС магнітострикційних перетворювачів є основними факторами похибок вимірювання.

Список літератури: 1. Ультразвуковые преобразователи /Под ред. Е. Кичуци, пер с англ.. – М.: Наука, 1972. – 386 с. 2. Агейкин Д.И., Костина Е.Н., Кузнецюова Н.Н Датчики контроля и регулирования. Справочные материалы. – М.: «Машиностроение», 1965. 928 с. 3. Гораздовський Т.Я. Наукові основи реології: Монографія. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля. 2009. – 699 с. 4. Стенцель Й.І., Томсон А.В., Рябіченко А.В. Математичні моделі ультразвукових рівнемірів рідин. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 2006, №2, с. 55-58. 5. Стенцель Й.І. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв: Навч. посібник - К.: ІСДО, 1995. – 360 с.