

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

ШАПОВАЛОВ ОЛЕКСІЙ ІВАНОВИЧ

УДК 681.128.82

Аллоно

**МАГНІТОСТРИКЦІЙНИЙ РІВНЕМІР РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ
З БАГАТОКРАТНИМ ВІДБИТТЯМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
ТОРСІЙНОГО ІМПУЛЬСУ**

Спеціальність: 05.11.13 – прилади та методи контролю та
визначення складу речовин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків–2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Східноукраїнському національному університеті ім. Володимира Даля Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Стенцель Йосип Іванович,
Східноукраїнський національний
університет ім. Володимира Даля,
завідувач кафедри
комп'ютерно-інтегрованих систем управління.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сахацький Віталій Дмитрович,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет, м. Харків,
професор кафедри метрології та безпеки життєдіяльності;

доктор технічних наук, старший науковий
співробітник
Лопатін Валерій Володимирович,
інститут геотехнічної механіки
ім. М. С. Полякова Національної
академії наук України, м. Дніпро,
старший науковий співробітник.

Захист відбудеться «24» травня 2018 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2

Автореферат розісланий „5” квітня 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради



Костюков І. О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із напрямів підвищення ефективності роботи технологічних апаратів та якості контролю їх передаварійних ситуацій, наприклад, випарних установок, ректифікаційних колон, ємностей для переробки промислових стоків, зберігання нафтопродуктів, складних хімічних рідин тощо, є удосконалення методів, приладів та інформаційно-вимірювальних технологій контролю. Для таких технологічних апаратів та ємностей важливим є збереження матеріального балансу, який визначається за рівнем рідини.

Особливо важливими є задачі підвищення точності, вірогідності та метрологічної надійності контролю рівня рідини в важкодоступних промислових об'єктах, до яких відносяться колодязі дренажних стоків рідин, каналізаційні канали як круглої, так і прямокутної форми, об'єкти, для яких контроль рівня рідини пов'язаний з технічними складнощами влаштування інших засобів. У більшості випадків використання відомих методів вимірювання рівня є практично неможливим як через особливості технологічного процесу, так і через неможливість їх влаштування на об'єкті. Для вимірювання рівня рідин широке розповсюдження отримали безконтактні засоби, з яких найбільш високонадійним і простим в експлуатації є ультразвуковий. До сучасних ультразвукових рівнемірів рідин висуваються високі вимоги щодо їх метрологічних характеристик та вірогідності контролю. У зв'язку з цим значна увага приділяється вдосконаленню ультразвукових рівнемірів рідинних середовищ, до яких відноситься й магнітострикційний. Створенню різних способів реалізації магнітострикційних перетворювачів (МСП), їх математичному описанню, а також виявленню конструктивних та алгоритмічних принципів покращення метрологічних та інших характеристик присвячені роботи таких учених як Е. А. Артемьева, С. Б. Деміна, Р. Ю. Мукаєва, А. І. Надєєва, Й. І. Стенцеля та інших.

Існуючі теоретичні підходи до підвищення точності та вірогідності контролю є недосконалими, які не дозволяють приймати рішення в критичних умовах експлуатації технологічних апаратів та ємностей. Тому зменшення зони нечутливості, розширення діапазону вимірювання, підвищення вірогідності контролю та зменшення похибок вимірювання є актуальною задачею, яка визначила напрямок дисертаційних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих систем управління СНУ ім. В. Даля у рамках завдань фундаментальної держбюджетної НДР МОН України «Розробка теоретичних основ явищ переносу на основі реологічних переходів і методу нульового градієнта» (ДР № 0109U000071) та госпдоговірної НДР «Теоретичні та експериментальні дослідження рівнеміра з магнітострикційним перетворювачем» (ДР № 0114U005450), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. *Мета дослідження* – розробка магнітострикційного рівнеміра рідинних середовищ з багатократним відбиттям

ультразвукового торсійного імпульсу, що дозволяє збільшити точність та розширити діапазон вимірювання за рахунок збільшення часу поширення ультразвукового торсійного імпульсу в хвилеводі.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

- розробити магніострикційний метод контролю та рівнемір рідини з багатократним відбиттям ультразвукового торсійного імпульсу в хвилеводі який збільшує діапазон вимірювання за рахунок зменшення зони нечутливості, зменшує похибки вимірювання, що дозволить підвищити вірогідність контролю;

- розробити математичні моделі перетворень в магніострикційному рівнемірі на основі теорії реологічних переходів та отримати аналітичну математичну модель запропонованого рівнеміра;

- виконати теоретичні та експериментальні дослідження запропонованого магніострикційного рівнеміра з метою визначення його метрологічних характеристик;

- удосконалити метод компенсації впливу температури газового та рідинного середовищ на магніострикційний рівнемір, який дозволить зменшити температурні похибки вимірювання;

- удосконалити варіаційний метод дослідження похибок вимірювання, який дозволить оцінювати одночасну дію впливових факторів на результат вимірювання.

Об'єкт дослідження - процес взаємодії електричного струмового імпульсу з рівнем рідини, яка перебуває в ємності.

Предмет дослідження – магніострикційний рівнемір рідинних середовищ з багатократним відбиттям ультразвукового торсійного імпульсу в хвилеводі.

Методи дослідження базуються на використанні: теорії вимірювального перетворення неелектричних величин і теорії реологічного перенесення імпульсу маси, енергії та кількості руху для розробки математичних моделей магніострикційних перетворювачів; методи математичного, фізичного та комп'ютерного моделювання при дослідженні магніострикційного методу та рівнеміра рідинних середовищ; основи теорії ймовірності та випадкових процесів для дослідження вірогідності контролю; методи математичної статистики при обробці результатів вимірювань під час дослідження повторюваності результату; основи теорії вимірювань похибок для оцінювання метрологічних характеристик магніострикційного рівнеміра.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше запропоновано магніострикційний метод вимірювання рівня рідини, який має два електромагнітні перетворювачі для багатократного відбиття ультразвукового торсійного імпульсу (УЗТІ) у хвилеводі, що дозволило розширити діапазон вимірювання рівня рідини на 20%, зменшити зону нечутливості до 200 мм за рахунок збільшення часу проходження УЗТІ по хвилеводу та підвищити вірогідність контролю до 0,988;

- вперше розроблені математичні моделі електродеформаційних процесів у хвилеводі магніострикційного перетворювача на основі теорії реологічних переходів і перетворень, які адекватно з ймовірністю 0,995 описують

експериментальні метрологічні характеристики, що дозволило удосконалити програмне забезпечення рівнеміра та підвищити точність розрахунку похибок вимірювання;

- удосконалено схему компенсації одночасного впливу температури газового та рідинного середовищ, який відрізняється від відомих тим, що вздовж хвилеводу розташовані термодатчики, кількість яких збільшується в газовому середовищі при пониженні рівня рідини та відповідно зменшується в рідині, що дозволяє в 2,5 рази зменшити температурні похибки вимірювання;

- удосконалено варіаційний метод для розрахунку похибок вимірювання та оптимізації статичних характеристик, який відрізняється від відомих тим, що похибки вимірювання визначаються за різницею площин між дійсною та реальною статичними характеристиками для кожного вимірювального рівня рідини, а оптимальну лінеаризовану статичну характеристику за мінімумом різниці площин між реальною та дійсною статичними характеристиками, що дозволило прогнозувати результати вимірювань та зменшити до 1,5 рази похибку вздовж діапазону вимірювання.

Практичне значення отриманих результатів для приладобудування полягає в тому, що:

- розроблено та впроваджено на науково-виробничому підприємстві «Мікротерм» (акт впровадження від 16. 03. 2017р.) магніострикційний рівнемір рідини з багатократним відбиттям ультразвукового торсійного імпульсу в хвилеводі, алгоритмічні та програмні засоби, які забезпечили виконання заходів щодо розробки технічного проекту магніострикційного рівнеміра та дозволяє проводити вимірювання рівня рідин до 10 метрів, зменшити зону нечутливості до 0,2 м і збільшити вірогідність контролю до 0,988 в апаратах та ємностях хімічних, нафтопереробних та інших підприємств;

- розроблено та впроваджено схему та алгоритм компенсації одночасного впливу температури газового та рідинного середовищ на роботу магніострикційного рівнеміра (захищено патентом України на корисну модель № 98707 U МПК G01F 23/28 по заявці № u 2014 10277, заявл. 19.09.2014, опубл. 12.05.2015. Бюл. №9 Держпатенту України), що дозволяє зменшити до 2,5 разів температурні похибки вимірювання;

- випробувана та впроваджена методика градуювання магніострикційного рівнеміра з багатократним відбиттям ультразвукового торсійного імпульсу в хвилеводі, що дозволило зменшити похибку градуювання і трудомісткість процедури калібрування;

- випробувані та впроваджені алгоритми обробки вимірювальної інформації та програмне забезпечення магніострикційного рівнеміра рідинних середовищ з багатократним відбиттям ультразвукового торсійного імпульсу в хвилеводі, що дозволило врахувати різноманітні впливові фактори, зменшити зону нечутливості до 0,2 м, зменшити до 2,5 разів температурні похибки вимірювання;

- розроблені та впроваджені рекомендації щодо проектування магніострикційних рівнемірів рідинних середовищ з багатократним відбиттям

ультразвукового торсійного імпульсу в хвилеводі, що дозволило зробити уніфікацію електронної схеми рівнеміра, формалізувати вибір параметрів схеми залежно від параметрів магніострикційного хвилевіда;

- за результатами дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля віртуальний комп'ютерний стенд лабораторної роботи з курсу «Метрологія, технологічні вимірювання та прилади» для студентів напряму підготовки 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (акт впровадження від 17. 03. 2017 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно, що підтверджується публікаціями з ключових аспектів задачі. У роботах, які опубліковані у співавторстві, дисертанту належить: аналіз сучасних ультразвукових методів і засобів контролю рівня рідинних середовищ; дослідження фізичних процесів магніострикційних перетворювачів; розробка математичних моделей магніострикційного рівнеміра з багатократним відбиттям ультразвукового торсійного імпульсу; математичні моделі та експериментальні дослідження впливу параметрів електромагнітного перетворювача на роботу магніострикційного рівнеміра; технічні рішення та рекомендації щодо розробки магніострикційних рівнемірів рідинних середовищ; математичне описання похибок вимірювання рівня рідинних середовищ магніострикційним рівнеміром та їх дослідження, яке базується на методі інтегрального функціоналу.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та окремі результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародних наук. техн. конф. та Всеукраїнських наук. техн. конф.: «Технологія-2012» (Севєродонецьк, 2012); «Технологія-14» (Севєродонецьк, 2014); VIII Міжнародній наук. техн. конф., (Полтава, 2012); «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (ВКДТС-2011) (Вінниця 2011р.); Summer InfoCom Advanced Solutions 2016. Conference Proceedings II Scientific and practical Conference (Kyiv, 2016); «Електроніка та інформаційні технології» (Львів, 2016).

Публікації. Основні наукові та практичні результати досліджень опубліковані в 26 роботах, з них: 12 статей у фахових наукових виданнях України в тому числі: 1 стаття у закордонному виданні; 9 статей входять до міжнародної наукометричної бази; 2 патенти України на корисну модель; 12 – у матеріалах конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, 4-х розділів, списку використаної джерел, який містить 124 найменувань, та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 254 сторінки, з яких основний зміст викладено на 132 сторінках друкованого тексту, містить 59 рисунків, 14 таблиць та 8 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність задачі досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мету та задачі досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також подано відомості про особистий внесок, апробацію результатів роботи та публікації.

Перший розділ роботи присвячений аналізу методів та засобів контролю рівня рідин, опису принципу їх дії, характеристик та особливостей застосування в різних галузях народного господарства, а також показані їх позитивні якості та недоліки. Особлива увага приділена ультразвуковим і магнітострикційним методам і засобам контролю рівня рідини. Проведений аналіз показав, що найбільш ефективним для контролю рівня рідини в ємностях, дренажних каналах і важкодоступних місцях є магнітострикційний метод вимірювання, який по відношенню до ультразвукових володіє достатньо високою точністю та широким діапазоном вимірювання. Напрямок подальших досліджень є удосконалення магнітострикційного методу вимірювання з метою підвищення точності, розширення діапазону вимірювання та вірогідності контролю.

Другий розділ присвячено теоретичному дослідженню фізичних процесів, які протікають у магнітострикційному перетворювачі (МСП). Показано, що процеси в МСП (рис. 1), характеризуються функціональними перетвореннями електричної енергії в механічний рух доменів хвилеводу і в загальному вигляді описуються наступним нелінійним диференціальним рівнянням перенесення потенціалу енергії

$$\frac{\partial \varphi(\vec{r}, \theta)}{\partial \theta} + \text{div}[\varphi(\vec{r}, \theta), \vec{v}] = -\text{div} \vec{q} + \gamma_M + \gamma_E, \quad (1)$$

де $\varphi(\vec{r}, \theta)$ - потенціал перенесення енергії електричного струмового імпульсу (ЕСІ) до МСП; \vec{r} - вектор направленості руху потенціалу енергії; θ - час перенесення; \vec{v} - вектор швидкості перенесення електричної енергії; \vec{q} - вектор потоку перенесення; γ_M - швидкість стоку потенціалу перенесення енергії механічного руху; γ_E - швидкість стоку потенціалу перенесення електромагнітної енергії.

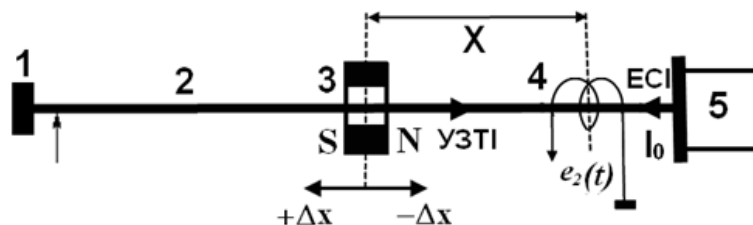


Рисунок 1 – Структурна схема МСП: 1 – башмак; 2 – хвилевід; 3 – поплавок з постійним магнітом; 4 – перетворювач ультразвукового торсійного імпульсу в електрорушійну силу; 5 – генератор імпульсів

Виконано аналіз фізичних процесів, які відбуваються в МСП при його збудженні ЕСІ амплітудою I_0 . У магнітострикційному перетворювачі мають місце наступні послідовні переходи: електрична енергія ЕСІ з амплітудою I_0 створює в

хвилеводі електричне поле, яке в сукупності з магнітним полем постійного магніту 3 збуджує електродинамічне зусилля (ЕДЗ) E_{∂} ; ЕДЗ приводить до механічного руху домен магнітострикційного матеріалу, переміщаючи їх на деяку відстань r ; вільний механічний рух доменів у магнітному полі створює ультразвукові торсійні імпульси (УЗТІ) з частотою f ; УЗТІ індукують у перетворювачі 4 електрорушійну силу (ЕРС) $e_2(t)$. Кожний НФП описується нелінійним диференціальним рівнянням аналогічним рівнянню (1). Схема перетворення ЕСІ в ЕДЗ показана на рис. 2. За рахунок стоку електричної та механічної енергії перехідні процеси в хвилеводі є загасаючими. УЗТІ у формі ЕРС $e_1(t)$, переміщається вздовж хвилеводу, створює навколо нього електромагнітне поле (ЕМП), яке досягає перетворювача 4 (рис. 1) та індукує в ньому ЕРС $e_2(t)$.

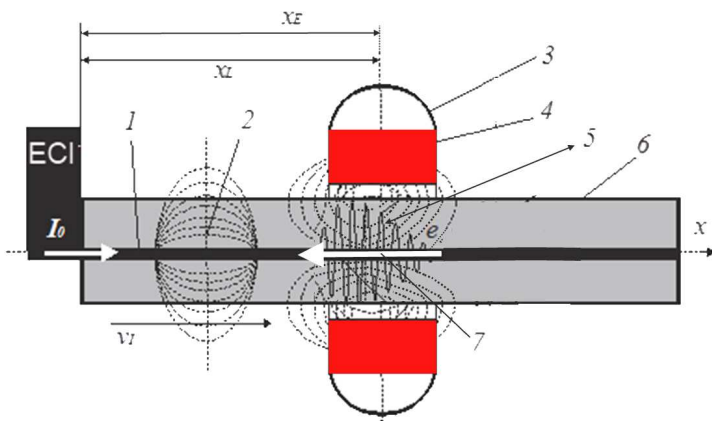


Рисунок 2 - Схема перетворення ЕСІ в ЕДЗ:
1 – хвилевід; 2 – електричне поле ЕСІ; 3 – поплавок;
4 – постійний магніт; 5 – УЗТІ; 6 – захи сна трубка;
7 – напрямок переміщення УЗТІ

Напрямок дії цього поля протилежний до електричного поля, яке створює ЕСІ. Оскільки потенціал перенесення енергії ЕСІ є прямокутним, то він описується інтегральною імпульсною дельта-функцією (ІДФ) Дірака з ядром у формі функції перенесення (1). Так як градієнт інтегральної ІДФ Дірака справа та зліва рівний нулю, то рівняння (1) згідно з методом нульового градієнта розділяється на систему наступних диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi(\bar{r}, \theta)}{\partial \theta} + \text{div}[\varphi(\bar{r}, \theta), \bar{v}] = 0; \\ \int_{t_1}^{t_2} (-\text{div} \bar{q} + \gamma_M + \gamma_E) dt = \varphi(\bar{r}, \theta). \end{cases} \quad (2)$$

Рішення системи рівнянь (2) дозволяє отримати функціональне перетворення потенціалу перенесення енергії в аналітичній формі. У результаті отримані наступні математичні моделі:

- перетворення ЕСІ в напруженість електромагнітного поля (ЕМП)

$$H(x) \approx H_0 \left[\left(1 + \frac{R_x C_x v}{\Re_x K_C} x \right) \exp\left(-\frac{x}{\Re_x K_C} \right) \right] \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_E \vartheta}} \right), \quad (3)$$

де $H(x), H_0$ - поточна та початкова напруженість ЕМП; x - поточне значення довжини хвилеводу; R_x, C_x - активний опір та ємність активної ділянки хвилеводу (АДХ); v - швидкість руху ЕСІ; K_C - стала; \Re_x - довжина хвилеводу; D_E - коефіцієнт перенесення потенціалу енергії ЕСІ; ϑ - час перенесення;

- перетворення напруженості ЕМП в електродинамічне зусилля (ЕДЗ)

$$F_C(t) = F_{M0} \operatorname{erf}\left(z/2\sqrt{D_F\vartheta}\right) \cdot \exp(-t/\tau_F), \quad (4)$$

де $F_C(t), F_{M0}$ - поточне та максимальне ЕДЗ; z - відстань відхилення доменів матеріалу хвилеводу від початкового стану; D_F - ефективний коефіцієнт перенесення електромагнітної енергії (ЕМЕ) в зоні АДХ за час ϑ ; t - час стоку ЕМЕ; τ_F - стала часу перенесення ЕМЕ;

- перетворення відхилення доменів АДХ у вільні механічні ультразвукові коливання

$$y_{\text{mex}}(t) = k_M F_{\Pi 0} \operatorname{erf}\left(z/2\sqrt{D_{\Pi}\theta}\right) \cdot \left[\exp(-\delta_{\beta}t) \cos(\omega_0 t)\right], \quad (5)$$

де $y_{\text{mex}}(t)$ - відстань відхилення доменів від початкового положення; $F_{\Pi 0}$ - початкова потенціальна енергія доменів; D_{Π} - ефективний коефіцієнт перенесення механічної енергії за час θ ; $\delta_{\beta} = \beta/2m$ - коефіцієнт загасання механічних коливань; β - коефіцієнт тертя доменів; $\omega_0 = D_{\vartheta}/m = 2\pi f_0$ - власна частота незагасаючих коливань доменів; D_{ϑ} - жорсткість; f_0 - частота;

- перетворення вільних механічних коливань в електрорушійну силу (ЕРС) $e_1(t)$

$$e_1(t) = \frac{I_0 K_{\vartheta}}{\Re_X D_j} \frac{\mu_a S \alpha}{2\pi a} F_{M0} K_1 \operatorname{erf}\left(\frac{\delta}{2\sqrt{D_E\vartheta}}\right) \exp(-\alpha t) \left\{ \cos(\omega_0 t) + \frac{\omega_0}{\alpha} \sin(\omega_0 t) \right\}, \quad (6)$$

де K_{ϑ} - стала; D_j - жорсткість коливальної системи доменів; S - поперечний перетин хвилеводу; α - ступінь загасання УЗТІ; a - радіус поширення електромагнітної енергії УЗТІ; δ - глибина проникнення ЕМП; $K_1 = \exp(-z/v_E\tau_F) \operatorname{erf}(z/2\sqrt{D_F\theta}) \operatorname{erf}(r_C/2\sqrt{D_{\Pi}\theta})$.

Математична модель статичної характеристики магнітострикційного рівнеміра рідини має вигляд

$$t_B = K_E \frac{v_1 \tau_1 I_0}{(J + \tau_1 \sqrt{G/\rho})} \left[\left(1 + \frac{R_0 C_0 v_1}{\Re_X} x_1 \right) \exp\left(-\frac{x_1}{\Re_X}\right) \right] \operatorname{erf}\left(\frac{x_1}{2\sqrt{D_E\vartheta}}\right) * \exp\left[-\frac{x_1 (J + \tau_1 \sqrt{G/\rho})}{D_E \tau_1}\right] \exp\left(-t \frac{E_{I0} I_0}{\Phi_{M0} \tau_1}\right), \quad (7)$$

де t_B - вимірний час, $R_0 = R_x$, $C_0 = C_x$, $x_1 = x$, або приймаючи до уваги, що $x_1 = v_1 t$, після розкладання в ряд Тейлора та нехтування членами малого порядку отримуємо наступну спрощену математичну модель у такій формі

$$t_B = K_0 \frac{2(H - L_{\vartheta})N_1 - N_3}{(H - L_{\vartheta})N_2 + N_4}, \quad (8)$$

де J - товщина газу; L_{ϑ} - дійсне значення рівня; $N_1 = u_0 \Re_X D_E \tau$; $N_2 = K_E v_1^2 \tau_1 I_0 \Re_X$;

$N_3 = (K_E v_1 \tau_1^3 I_0 \Re_X D_E - u_0 \Re_X D_E \tau_1^2 \sqrt{G/\rho})$; $N_4 = (K_E (v_1 \tau_1)^2 I_0 \Re_X \sqrt{G/\rho} - R_0 C_0 v_1^3 D_E \tau_1^2 K_E I_0)$;
 H - висота ємності; $\tau_1 = L_0/R_0$ - електрична стала часу; v_1 - швидкість руху ЕСІ у хвилеводі; u_0 - опорна напруга; K_E - стала.

На рис. 3 наведені результати моделювання статичної характеристики МСР рідини, а на рис. 4 – відхилення реальної статичної характеристики від лінійної. Статична характеристика магнітострикційного рівнеміра (МСР) рідинних середовищ є достатньо близькою до лінійної. Її нелінійність зумовлена фізичними властивостями хвилеводу і не перевищує 1,5% від діапазону вимірювання.

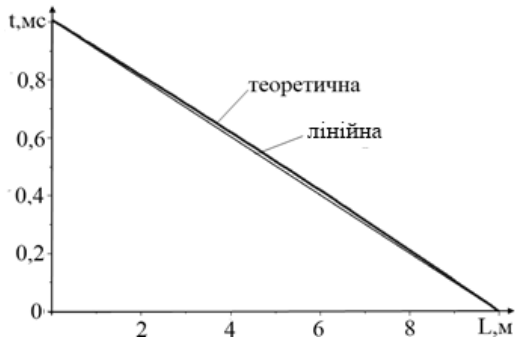


Рисунок 3 – Статичні характеристики МСР

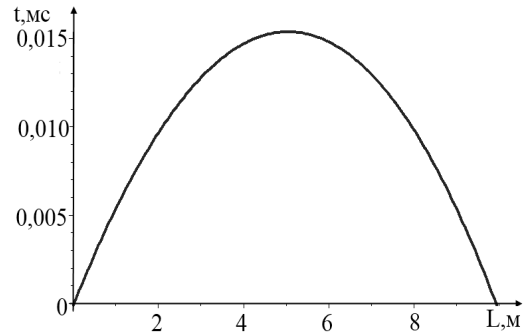


Рисунок 4 – Графік нелінійності статичної характеристики

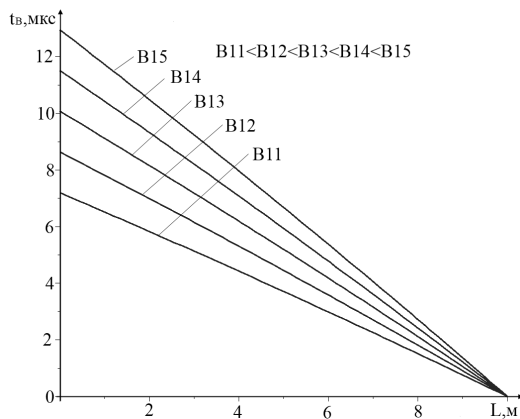


Рисунок 5 – Статичні характеристики при зміні параметра N_1

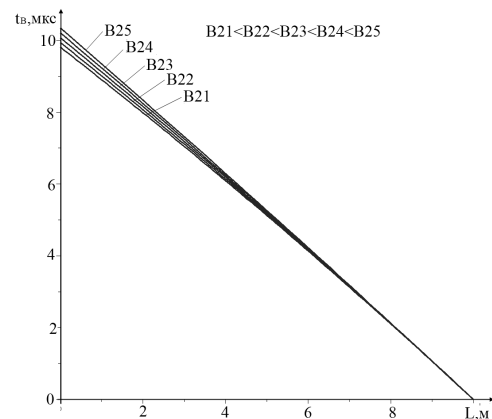


Рисунок 6 – Статичні характеристики при зміні параметра N_2

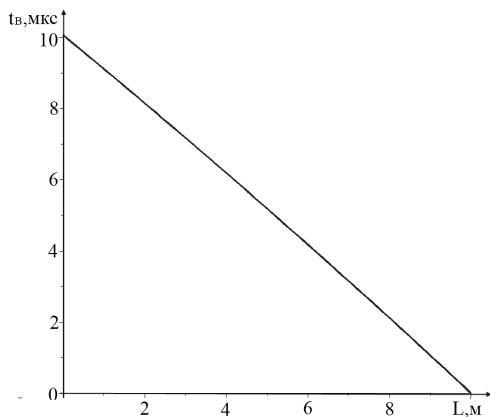


Рисунок 7 – Статичні характеристики при зміні параметра N_3

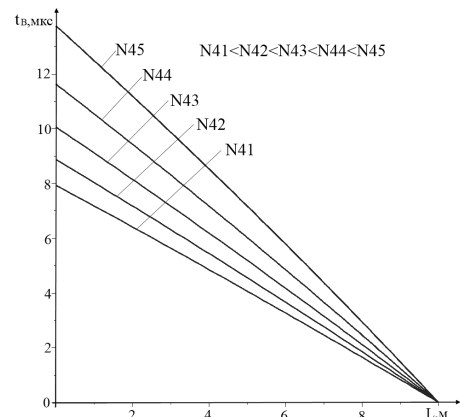


Рисунок 8 – Статичні характеристики при зміні параметра N_4

Параметри N_1, N_2, N_3, N_4 є змінними, які залежать від внутрішніх і зовнішніх впливових факторів. До основного впливового фактора відноситься температура газу та рідини, яка викликає зміну як активного опору АДХ R_0 , так і густини ρ , довжини хвилеводу \mathfrak{R}_x , модуля зміщення G , а також об'ємного розширення рідини. На рис. 5 наведені залежності $t_B = f(L_0)$ при збільшенні N_1 , на рис. 6 – при збільшенні N_2 , на рис. 7 – при збільшенні N_3 , на рис. 8 – при збільшенні N_4 . З рисунків видно, що найбільш значний вплив на статичні характеристики мають параметри N_1 і N_4 . Зміна параметру N_3 практично не впливає на характер статичної характеристики.

У **третьому розділі** розглядаються технічні рішення щодо удосконалення магнітострикційного рівнеміра (МСР) рідинних середовищ, отримано статичні характеристики та проведено метрологічний аналіз. Використовуючи варіаційний метод і метод інтегрального функціоналу, виконані дослідження похибок вимірювання, зроблено аналіз впливу різних факторів на статичну характеристику, а саме: температури газу й рідини, модуля зміщення та густини матеріалу хвилеводу, амплітуди електричного струмового імпульсу, магнітного поля постійного магніту, напруги живлення електричної вимірювальної схеми (ЕВС). Відхилення статичної характеристики наведено у вигляді функціоналу, що являє собою функцію вихідного параметра та впливових величин, а похибки вимірювання подано у вигляді суми мультиплікативної, нелінійної квадратичної та нелінійної кубічної складових. Для дослідження похибок вимірювання МСР рідини використано наступне критеріальне рівняння

$$\int_0^{t_{2\Pi}} \Phi(L_P, \beta_0) dt_2 \pm \int_0^{t_{2\Pi}} \frac{\partial \Phi(L_P, \beta)}{\partial \beta} (\delta \beta) dt_2 - (0,5 \pm k_t \delta_{\Pi}) t_{2\Pi} L_{P\Pi} = 0, \quad (9)$$

де $\Phi(L_P, \beta)$ - функція, яка залежить від діапазону вимірювання L_P і впливового параметра β ; β_0 - його номінальне значення; $t_{2\Pi}, t_2$ - максимальне та поточне значення часу; δ_{Π} - відносна похибка для кінця діапазону вимірювання; $L_P, L_{P\Pi}$ - поточне та кінцеве значення рівня рідини; $\delta \beta$ - варіація впливового параметра.

Якщо на МСР рідини чинять вплив фактори, то статична характеристика описується таким рівнянням

$$\int_0^{L_{P\Pi}} t_2(L_P, \beta_0) dL_P \pm \int_0^{L_{P\Pi}} \frac{\partial t_2(L_P, \beta_0)}{\partial \beta} (\delta \beta) dL_P - (0,5 \pm \delta_{\Sigma}) t_{2\Pi} L_{P\Pi} = 0, \quad (10)$$

де $\delta_{\Sigma} = K_{\mu}^0 \delta_{\chi} + K_{H2}^0 \delta_{\chi}^2 + K_{H3}^0 \delta_{\chi}^3$ - сумарна похибка вимірювання, зумовлена відхиленням впливового параметра; $K_{\mu}^0, K_{H2}^0, K_{H3}^0$ - коефіцієнти впливу для мультиплікативної, нелінійної квадратичної та нелінійної кубічної складової похибки відповідно; δ_{χ} - відносна зміна впливового фактора.

Показано, що статичну характеристику МСР можна описати таким рівнянням

$$\int_0^{L_{P\Pi}} t_P(L_P, N_{0i}) dL_P \pm \int_0^{L_{P\Pi}} \frac{\partial t_P(L_P, N_{0i})}{\partial N_i} (\delta N_i) dL_P - 0,5 t_{P\Pi} L_{P\Pi} = 0, \quad (11)$$

де N_{0i}, N_i - номінальне та поточне значення впливового параметра; $L_{P\Pi}$ - рівень, кінця діапазону вимірювання; $t_{P\Pi}$ - час, який відповідає рівню $L_{P\Pi}$.

На рис. 9 приведені залежності зміни площини під статичною характеристикою $S_{L_P} = f(L_P)$, а на рис. 10 – залежність зміни площин між лінійною та нелінійною статичними характеристиками $\Delta S_{L_P} = f(L_P)$, де $S_{L_P} = \int_0^{L_{P\Pi}} t_P(L_P, N_{0i}) dL_P$,

$$\Delta S_{L_P} = \int_0^{L_{P\Pi}} \frac{\partial t_P(L_P, N_{0i})}{\partial N_i} (\delta N_i) dL_P.$$

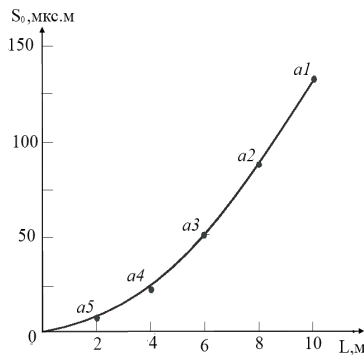


Рисунок 9 – Залежність $S_{L_P} = f(L_P)$

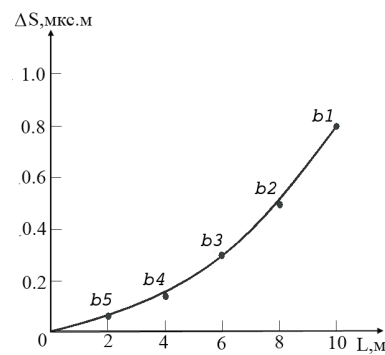


Рисунок 10 – Залежність $\Delta S = f(L_P)$

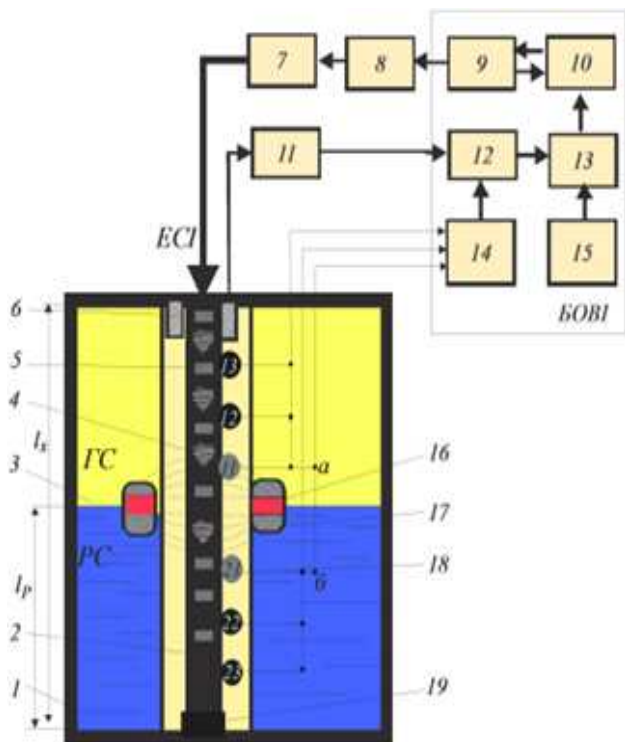
Критеріальні точки a_1, a_2, a_3, a_4 для рівнів відповідно: $L_P = 2\text{м}$, $L_P = 4\text{м}$, $L_P = 6\text{м}$ і $L_P = 8\text{м}$ розподілені нерівномірно. Таке їх розподілення підтверджує те, що статична характеристика є нелінійною, яка збільшується зі збільшенням відстані L_P . Залежності $\Delta S_{L_P} = f(L_P)$, які зумовлені зміною впливового параметра β , для таких же відстаней (критеріальні точки b_1, b_2, b_3, b_4) свідчать, що розподілення похибки за діапазоном вимірювання теж є нелінійним. Для зменшення впливу температури газу та рідини запропоновано спосіб, який пояснюється рис. 11.

На рис. 11 показано: 1 – ємність; 2 - хвилевід; 3 – поверхня рідини; 4 – УЗТІ; 5 - ЕСІ; 6 - приймач УЗТІ; 7 - підсилювач ЕСІ; 8 - генератор; 9 - мікропроцесор; 10 – лічильник тактових імпульсів (ЛТІ); 11 - підсилювач приймача УЗТІ; 12 - суматор; 13 - компаратор; 14 - блок обробки сигналів термопар; 15 – джерело опорної напруги; 16 - система з постійними магнітами; 17 - поплавков; 18 - захисна трубка; 19 - башмак.

У запропонованому МСР рідини термопар розташовані вздовж хвилеводу таким чином, щоб в області поплавка з постійним магнітом знаходилося мінімум дві з них, одна з яких вимірює температуру газу, а інша – рідини.

За вихідними сигналами у блоці обробки вимірювальної інформації (БОВІ) розраховується середнє значення температури, а відповідно корегуючий сигнал. Це

дозволяє зменшити температурну похибку МСР рідини до 2 разів за рахунок впливу температури газу на роботу поплавка з постійним магнітом, зменшити температурну похибку до 2,5 разів за рахунок впливу температури газу і рідини на зміну активного опору хвилеводу та зменшити нелінійність статичної характеристики при зміні температури рідини від мінус 40⁰С до 120⁰С.



Рисунок^o 11 – МСР з температурною компенсацією газу та рідини

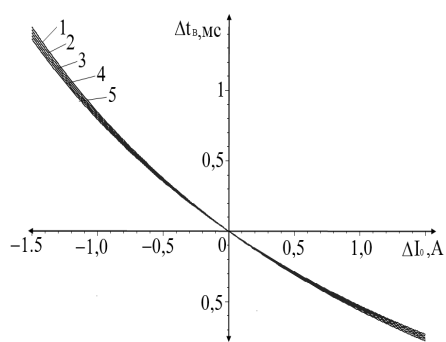


Рисунок 12 – Результати моделювання похибок вимірювання, зумовлених зміною амплітуди ЕСІ

Похибка, яка зумовлена зміною амплітуди ЕСІ, описується рівнянням

$$\Delta t_B = \frac{N_{10}(N_1 - N_3)}{N_3 I_{0H}} \frac{\delta_I}{(1 - \delta_I)}, \quad (12)$$

де $\delta_I = \Delta I_0 / I_{0H}$ - відносне значення зміни амплітуди ЕСІ.

Криві похибок вимірювання, зумовлених зміною амплітуди ЕСІ, для значень рівня рідини: 1 – 1 м; 2 – 3 м; 3 – 5 м; 4 – 7 м і 5 – 9 м приведені на рис. 12. Залежності $\Delta t_B = f(\Delta I_0)$ є нелінійними. Майже в двічі збільшується похибка при зменшенні амплітуди ЕСІ. Нелінійні складові похибки (рис. 13) є незначними при малих змінах амплітуди ЕСІ та односторонніми з мультиплікативними. Зміна рівня рідини мало впливає на похибки вимірювання.

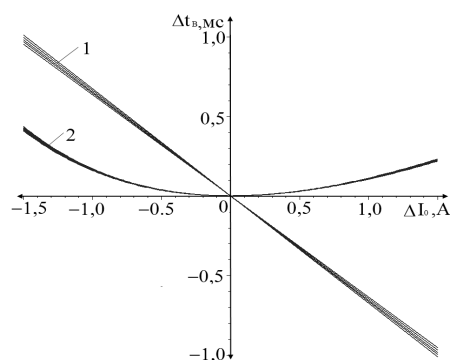


Рисунок 13 – Результати моделювання складових похибок вимірювання: 1 – мультиплікативні; 2 - нелінійні

Математична модель для температурної похибки має вигляд

$$\Delta t_B = N_0(H - L) \left[\begin{array}{l} \frac{(1 \pm \alpha_l \Delta T)}{(1 + 3\alpha_p \Delta T)} \cdot \left[\frac{\sqrt{\frac{(1 + 3\alpha_p \Delta T)}{(1 \pm \alpha_l \Delta T)(1 + \alpha_R \Delta T)^2}} \left(1 - \frac{N_1}{(1 + \alpha_R \Delta T)} \right) + N_2}{\sqrt{\frac{(1 + 3\alpha_p \Delta T)}{(1 \pm \alpha_l \Delta T)(1 + \alpha_R \Delta T)^2}} (1 - N_3(1 + \alpha_R \Delta T)) + N_4} \right] - \\ - \left[\frac{(1 - N_1) + N_2}{(1 - N_3) + N_4} \right] \end{array} \right], \quad (13)$$

де α_l , α_p , α_R - температурні коефіцієнти зміни довжини хвилеводу, густини його матеріалу та активного електричного опору відповідно; ΔT - зміна температури.

Залежності похибки вимірювання, які зумовлені зміною температури, для значень рівня рідини: 1 – 1 м; 2 – 3 м; 3 – 5 м; 4 – 7 м і 5 – 9 м приведені на рис. 14. Мультиплікативна та нелінійні складові похибки (рис. 15) є значними, особливо великою є перша.

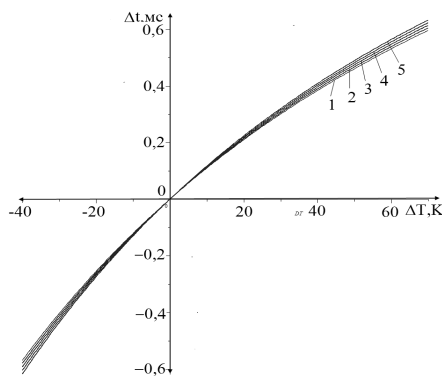


Рисунок 14 – Результати моделювання загальної температурної похибки вимірювання

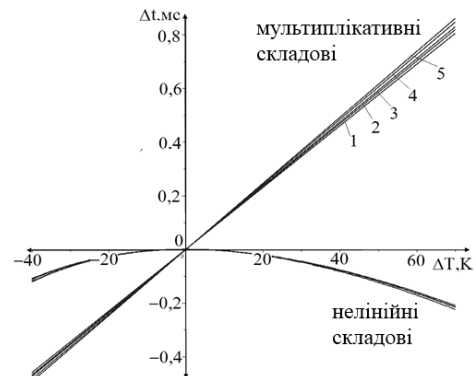


Рисунок 15 – Результати моделювання мультиплікативних і нелінійних температурних похибок

Нелінійними складовими можна знехтувати. Зміна рівня рідини мало впливає на похибки вимірювання. При підвищенні температури від номінальної загальна температурна похибка дещо зменшується, так як мультиплікативна та нелінійні похибки є протилежними за знаком.

У **четвертому розділі** наведено результати практичної реалізації МСР рідини з розширеним діапазоном вимірювання. Розроблено відповідне алгоритмічне та програмне забезпечення. На рис. 16 наведена структурна схема запропонованого МСР рідини.

На схемі показано: 1 – ємність з рідиною; 2 - хвилевід; 3 – основний постійний магніт, який створює УЗТІ-2; 4 – гальмуючий постійний магніт, який створює УЗТІ-1; 5 – поплавков; 6 – ЕСІ; 7 - підсилювач; 8 - генератор ЕСІ; 9 - мікроконтролер; 10 – ЛТІ; 11 - підсилювач приймача УЗТІ; 12 - ЛТІ УЗТІ; 13 - компаратор; 14 – задавач

кількості УЗТІ; 15 - джерело опорної напруги; 16 – приймач УЗТІ; 17 – форма УЗТІ; 18 – поверхня рідини; 19 – башмак.

МСП з двома магнітами працює наступним чином. За рахунок багатократного проходження УЗТІ між магнітами 3 і 4 кількість тактових імпульсів, які відраховуються ЛТІ, збільшується, що приводить до збільшення часу вимірювання, яка приходить на одиницю зміни рівня рідини: $k = \Delta N / \Delta L_p$, де k - коефіцієнт чутливості; ΔN - зміна кількості тактових імпульсів, яка приходить на зміну рівня ΔL_p . Оскільки коефіцієнт чутливості збільшується, це дає можливість зменшити зону нечутливості, і відповідно розширити діапазон вимірювання, а також підвищити його точність при малій товщині газу.

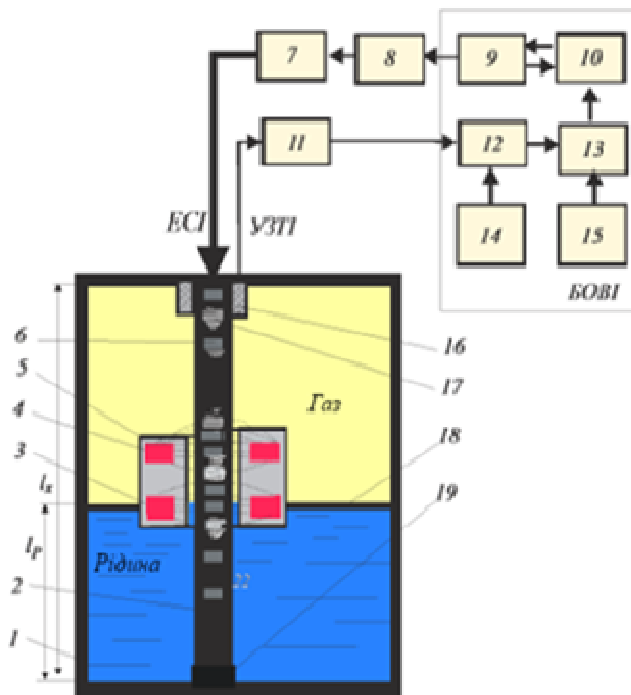


Рисунок 16 – Схема МСЗКР рідини з розширеним діапазоном вимірювання

вимірювання склала 3,8 мм (зведена – 0,075%) при діапазоні вимірювання від 0 до 10 м, та зоні нечутливості 0,2 м; стандартна невизначеність за типом А склала 0,239 мм., а за типом В – 1,452 мм; сумарна стандартна невизначеність дорівнює 1,714 мм., а розширена – 3,512 мм. Максимальна похибка вимірювання, яка обумовлена зміною температури повітря від -40°C до $+75^{\circ}\text{C}$, склала 2,12 мм на кожні 10°C при зміні температури від $+20$ до -40°C і 2,17 мм на кожні 10°C при зміні температури від 20°C до $+75^{\circ}\text{C}$. Помилки контролю: першого роду $\alpha = 0,0147$, другого - $\beta = 0,00047$. Вірогідність прийняття засобом помилкового результату для визначених помилок контролю становить $P_n = 0,008$, а вірогідність прийняття правильного результату становить $D = 0,992$.

У додатках наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи на науково-виробничому підприємстві «Мікротерм» і в навчальний процес у Східноукраїнському національному університеті імені В. Даля, патенти на користі моделі, результати моделювання метрологічних характеристик магнітострікційного

Крім того, надані рекомендації щодо підготовки хвилеводів до використання в МСР рідин, а також електромеханічних випробувань та їх стабілізації. Розроблена методика градування МСР рідин з допомогою імітаційної установки. Показано, що градувальну характеристику рівнеміра можна описати емпіричним лінійним рівнянням: $L_{\theta} = a_0 + a_1 L_B$, де L_{θ} - дійсне значення рівня; L_B - розраховане в БОВІ значення рівня; a_0, a_1 , - коефіцієнти лінії регресії. Виконані експериментальні дослідження експериментальних зразків МСР рідини. Статичні характеристики рівнеміра є практично лінійними до 10 м. Результати досліджень показали, що при нормальних умовах експлуатації основна похибка

рівнеміра рідинних середовищ, програма для роботи мікропроцесора, а також список публікацій здобувача за темою дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-технічна задача, яка полягає в розробці та дослідженні магніострикційного рівнеміра рідини з багатократним відбиттям торсійного ультразвукового імпульсу в хвилеводі, що забезпечує розширення діапазону вимірювання, зменшення зони нечутливості, підвищення точності вимірювання та вірогідності контролю. При цьому одержані такі основні результати:

1. Запропоновано метод та магніострикційний рівнемір рідини з багатократним відбиттям ультразвукового торсійного імпульсу в хвилеводі, який відрізняється від відомих тим, що має два магнітні перетворювачі (МП) – основний МП розташований в плаваючому на поверхні рідини поплавку та збуджується електричним струмовим імпульсом, а другий - розташований в газовому середовищі, які створюють разом з хвилеводом динамічну коливальну систему, частота коливання якої залежить від відстані між перетворювачами, а їх амплітуда від електрофізичних параметрів хвилеводу. Коливання цієї динамічної коливальної системи сприймається вхідним перетворювачем цих коливань і перетворюється в коливання електричної напруги, які поступають в блок обробки інформації. В останньому амплітуда цих коливань порівнюється з амплітудою заданої опорної напруги і при їх рівності передається для подальшої обробки вимірювальної інформації, що дозволило розширити діапазон вимірювання в 1,25 рази і зменшити зону нечутливості до 0,2 м.

2. Запропоновані математичні моделі функціональних перетворень у магніострикційному рівнемірі рідини, які відрізняються від відомих тим, що вони отримані на принципі реологічного перенесення імпульсу енергії, маси та кількості руху, що дозволило врахувати фізичні процеси їх перенесення в об'єкт контролю та оцінити особливості їх перетворення в інші види, а також описати такі динамічні процеси нелінійними диференціальними рівняннями.

3. Розроблено математичні моделі магніострикційного рівнеміра рідини в аналітичній формі, як у динамічному, так і в статичному режимах його роботи методом нульового градієнта, що дозволило вдосконалити математичну модель статичної характеристики засобу і показати причини відхилення її від лінійної, а також оцінити теоретично і експериментально вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на похибки вимірювання.

4. Удосконалено схему компенсації температурних похибок вимірювання, яка відрізняється від відомої тим, що в запропонованій схемі вздовж хвилеводу розташовані термоелектричні перетворювачі таким чином, що частина з них знаходиться в газовому середовищі, а частина в рідині, а при зміні рівня рідини на одну й ту ж величину збільшується або зменшується кількість термометрів у газовому середовищі та рідині, що забезпечує рівномірний контроль температур як газового та і рідинного середовищ, а також запропоновано алгоритм компенсації

температурної похибки вимірювання, який на відміну від існуючого (у котрому визначається середнє значення температури за двома термометрами, один з яких знаходиться в газовому середовищі, а другий - в рідині) всі термометри у певній послідовності періодично опитуються, а їх сигнали у відповідному порядку записуються в блоці обробки інформації, в якому після відповідної обробки визначається різниця сигналів термометрів, які знаходяться в газовому середовищі та в рідині, що дозволяє зменшити температурну похибку вимірювання в два рази.

5. Розроблені математичні моделі магніострикційного засобу контролю рівня рідини для похибок вимірювання та виконано їх дослідження методом інтегрального варіаційного функціоналу, що дозволило оцінити вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на його метрологічні характеристики.

6. Одержані наукові результати у вигляді методики експериментального визначення рівня рідини, структурних схем, рівнянь функціональних перетворень, принципу дії засобу вимірювання рівня впроваджені на науково-виробничому підприємстві «Мікротерм» (м. Сєверодонецьк), теоретичні та практичні положення роботи впроваджено в навчальний процес у Східноукраїнському національному університеті імені Володимира Даля (м. Сєверодонецьк) для виконання лабораторних робіт та проведення лекційних занять для студентів за напрямом підготовки 6.050202 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» з навчальних дисциплін: «Метрологія, технологічні вимірювання та прилади» та «Автоматизація технологічних процесів виробництва».

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шаповалов О. І. Аналіз магніострикційних засобів контролю рівня рідинних середовищ / Й. І. Стенцель, А. В. Томсон, О. І. Шаповалов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2010. – № 3/5 (45). – С. 53–56.

Здобувачем обґрунтовано вибір магніострикційного засобу вимірювального контролю рівня рідинних середовищ та запропоновані рекомендації щодо його удосконалення.

2. Шаповалов О. І. Експериментальні дослідження ультразвукових сигналів магніострикційного засобу контролю рівня рідинних середовищ / Й. І. Стенцель, О. І. Шаповалов // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2010. – № 12. – С. 15–20.

Здобувачем експериментально досліджено магніострикційний засіб вимірювального контролю рівня рідинних середовищ.

3. Шаповалов О. І. Математичні моделі ультразвукового засобу контролю рівня рідинних середовищ за реперним каналом / Й. І. Стенцель, В. В. Євсюков, О. І. Шаповалов // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2011. – № 19. – С. 19–30.

Здобувачем досліджено математичні моделі ультразвукової ланки магніострикційного рівнеміра рідини.

4. Шаповалов О. І. Основи теорії магніострикційного засобу контролю рівня рідинних середовищ / Й. І. Стенцель, О. І. Шаповалов, А. В. Томсон, А. С. Янішина // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2011. – № 19. – С. 45–54.

Здобувачем виконані теоретичні дослідження магніострикційного рівнеміра рідини на основі теорії реологічних перетворень.

5. Шаповалов О. І. Теоретичні дослідження ультразвукового пристрою контролю рівня з нерівномірною поверхнею / Й. І. Стенцель, О. І. Шаповалов, К. А. Літвінов, В. В. Євсюков // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2013. – № 34 (1007). – С. 18–23.

Здобувачем виконані дослідження ультразвукової ланки магніострикційного рівнеміра рідини з нерівномірною поверхнею.

6. Шаповалов О. І. Фізичні моделі перетворень електричного імпульсу в магніострикційному перетворювачі / О. І. Шаповалов // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2014. – № 19 (1062). – С. 48–57.

7. Шаповалов О. І. Реологічні перетворення електричного струмового сигналу в напруженість електромагнітного поля магніострикційного хвилеводу / О. Шаповалов // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2014. – № 9 (216). – С. 174–179.

8. Шаповалов О. І. Засіб контролю рівня рідинних середовищ з кільцевим рухом ультразвукового сигналу / Й. І. Стенцель, К. А. Літвінов, А. В. Рябіченко, О. І. Шаповалов // ВНТУ. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінниця, 2014. – № 1. – С. 52–56.

Здобувачем виконані теоретичні дослідження ультразвукового каналу магніострикційного рівнеміра.

9. Y. Stentsel, O. Porkuian, K. Litvinov, O. Shapovalov, «Research of heat energy transfer processes based on rheological transitions theory and zero gradient method», ТЕКА Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – An International quarterly journal on Motorization, vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering, Lublin–Rzeszow. – Vol. 16. – № 3. – P. 21–29, 2016.

Здобувачем виконані дослідження впливу температурних полів.

10. Шаповалов О. І. Математична модель магніодинамічного потоку в зоні реологічного переходу магніострикційного перетворювача / О. І. Шаповалов // Вісник ХНТУ. Технічні науки. – Хмельницький, 2014. – № 2 (211). – С. 240–245.

11. Шаповалов О. І. Дослідження похибок ультразвукових рівнемірів методом інтегральної матриці / Й. І. Стенцель, К. А. Літвінов, А. В. Рябіченко, О. І. Шаповалов // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2016. – № 9 (216). – С. 108–113.

Здобувачем виконані дослідження похибок вимірювання методом інтегральної матриці.

12. Шаповалов О. І. Дослідження точності вимірювання за реологічних перетворень фізичної величини з конвекційним перенесенням / Й. І. Стенцель, К. А. Літвінов, О. І. Шаповалов // Метрологія та прилади. – Харків, 2014. – № 6 (50). – С. 8–11.

Здобувачем виконані дослідження похибок вимірювання рівня рідини ультразвуковою ланкою магніострикційного засобу.

13. Магніострикційний засіб для контролю рівня рідинних середовищ : пат. 98707 U, МПК G01F 23/28 (2006.01) / Й. І. Стенцель, О. І. Шаповалов,

А. В. Рябіченко, О. І. Проказа ; власник СНУ ім. В. Даля. – № у 2014 10277 ; заявл. 19.09.2014; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9

Здобувачем обґрунтовано магніострикційний рівнемір рідини.

14. Ультразвуковий пристрій для вимірювання рівня середовищ з нерівномірною поверхнею : пат. 74227 У, МПК G01F 23/28 (2006.01) / Й. І. Стенцель, А. В. Томсон, О. І. Шаповалов, К. А. Літвінов ; власник СНУ ім. В. Даля. – № у 2012 03182 ; заявл. 19.03.2012 ; опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20

Здобувачем досліджено ультразвуковий засіб вимірювального контролю рівня рідини з нерівномірною поверхнею.

15. Шаповалов О. І. Основи теорії реологічних перетворень у вихорострумових засобах контролю / О. І. Шаповалов // XIII Всеукраїнська наук. практ. конф. «Технологія–2010». – Сєверодонецьк, 2010. – С. 41–43.

16. Шаповалов О. І. Аналіз магніострикційних засобів вимірювання параметрів нафтопродуктів / А. В. Томсон, О. І. Шаповалов // XIII Всеукраїнська наук. практ. конф. «Технологія–2010». – Сєверодонецьк, 2010. – С. 20.

Здобувачем виконано аналіз магніострикційних методів вимірювання рівня нафтопродуктів.

17. Шаповалов О. І. Ультразвукові прилади контролю рівня рідинних середовищ з нерівномірними поверхнями / Й. І. Стенцель, О. І. Шаповалов, А. В. Рябіченко, В. В. Євсюков // VI Міжнародна наук.–практ. конф. «Розвиток наукових досліджень 2010». – Полтава, 2010. – С. 111.

Здобувачем виконано аналіз сучасних ультразвукових засобів контролю рівня рідин.

18. Шаповалов О. І. Основи теорії магніострикційного методу контролю рідинних середовищ / Й. І. Стенцель, О. І. Шаповалов, А. С. Янішина // I Міжнародній наук.–техн. конф. «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах. «ВКДТС–2011». – Вінниця, 2011. – С. 86.

Здобувачем запропоновані математичні моделі хвилеводу магніострикційного рівнеміра рідини.

19. Шаповалов О. І. Ультразвуковий засіб контролю рівня рідинних середовищ з нерівномірною поверхнею / Й. І. Стенцель, О. І. Шаповалов, А. І. Томсон // I регіональний наук. практ. семінар «Теоретичні та практичні аспекти приладобудування». – Луганськ, 2012. – С. 61–62.

Здобувачем виконані дослідження ультразвукової ланки магніострикційного рівнеміра з нерівномірною поверхнею рідини.

20. Шаповалов О. І. Експериментальні дослідження ультразвукового засобу контролю рівня рідин з нерівномірною поверхнею / Й. І. Стенцель, В. В. Євсюков, О. І. Шаповалов // I регіональний наук. практ. семінар «Теоретичні та практичні аспекти приладобудування». – Луганськ, 2012. – С. 66–67.

Здобувачем виконані експериментальні дослідження ультразвукової частини магніострикційного рівнеміра з нерівномірною поверхнею рідини.

21. Shapovalov A. Measuring Level of liquid mediums with irregular surface by the ultrasound level control device / I. Stencel, A. Thomson, A. Shapovalov, K. Litvinov //

VIII Міжнародна наук. техн. конф. «Розвиток наукових досліджень 2012». – Полтава, 2012. – С. 78–81.

Здобувачем описані ультразвукові методи вимірювання рівня рідини.

22. Шаповалов О. І. Дослідження магнітострикційного засобу контролю рівня рідинних середовищ / О. І. Шаповалов, Й. І. Стенцель // XV Міжнародній наук.–техн. конф. «Технологія–2013». – Северодонецьк, 2013. – С. 50–51.

Здобувачем описані результати експериментальних досліджень магнітострикційного рівнеміра рідини.

23. Шаповалов О. І. Методична похибка вимірювання при реологічних перетвореннях фізичної величини / А. В. Рябіченко, К. А. Літвінов, О. І. Шаповалов // XVI Міжнародна наук.–техн. конф. «Технологія–2014». – Северодонецьк, 2014. – С. 20–21.

Здобувачем надані результати дослідження методичної похибки вимірювання при реологічних перетворюваннях ультразвукової енергії.

24. Шаповалов О. І. Перетворення магнітного поля в ультразвуковий сигнал в магнітострикційному хвилеводі / О. І. Шаповалов, Й. І. Стенцель // XVI Міжнародна наук.–техн. конф. «Технологія–2014». – Северодонецьк, 2014. – С. 28–30.

Здобувачем досліджені перетворення магнітного поля в ультразвуковий сигнал у магнітострикційному хвилеводі.

25. Шаповалов О. І. Статична характеристика магнітострикційного вимірювального контролю рівня рідини / О. І. Шаповалов, Й. І. Стенцель // Всеукраїнська наук.–техн. конф. молодих вчених в царині метрології «Technical Using of Measurement–2015». – Славське, 2015. – С. 118–120.

Здобувачем досліджені статичні характеристики магнітострикційного рівнеміра рідини.

26. Shapovalov O. I. Method of compensation of temperature errors of magnetostrictive level instrument / O. I. Shapovalov // Conference Proceedings II Scientific and practical Conference. Summer InfoCom Advanced Solutions. – Kyiv, 2016. – P. 17–18.

АНОТАЦІЇ

Шаповалов О. І. Магнітострикційний рівнемір рідинних середовищ з багатократним відбиттям ультразвукового торсійного імпульсу. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.11.13 - прилади і методи контролю та визначення складу речовин. - Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Северодонецьк. Захист відбудеться на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню важливої науково-прикладної задачі – розробці магнітострикційного рівнеміра рідинних середовищ, який дозволяє

підвищити ефективність використання ємностей за рахунок зменшення зони нечутливості, розширення діапазону та зменшення похибок вимірювання.

На основі теорії реологічних перетворень досліджені електромеханічні процеси в магнітострикційному перетворювачі. Перетворювачі описуються нелінійними диференціальними рівняннями, що дало можливість вивчити вплив нелінійності на метрологічні характеристики рівнеміра та розробити заходи щодо їх покращення. Отримано математичні моделі запропонованого рівнеміра в аналітичній формі. Виконано дослідження похибок вимірювання методом інтегрального функціоналу. Запропоновано структурну схему магнітострикційного рівнеміра з багатократним відбиттям ультразвукового торсійного імпульсу та розроблені алгоритми обробки вимірювальної інформації і програмне забезпечення для мікропроцесора.

Ключові слова: точність, вірогідність, чутливість, контроль, магнітострикція, ультразвук, перетворювач, реологія, модель, алгоритм.

Шаповалов А.И. Магнитострикционный уровнемер жидких сред с многократным отражением ультразвукового торсионного импульса. На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.11.13 - приборы и методы контроля и определения состава веществ. - Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк. Защита состоится на заседании специализированного ученого совета Д 64.050.09 в Национальном техническом университете «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2018.

Диссертация посвящена решению важной научно-прикладной задачи – разработке магнитострикционного уровнемера жидких сред, который позволяет увеличить эффективность использования емкостей за счет уменьшения зоны нечувствительности, расширения диапазона и уменьшения погрешностей измерения.

Выполнен анализ магнитострикционных средств измерительного контроля и показаны их сравнительные характеристики. Для теоретических исследований магнитострикционного уровнемера предложено использовать теорию необратимых реологических переходов и метод нулевого градиента, которые позволяют изучить нелинейные процессы при переносе энергии, массы и количества движения. Предложено описывать необратимые реологические преобразования интегральными импульсными дельта-функциями Дирака. Разработаны физические модели необратимых реологических переходов для магнитострикционного преобразователя и показано, что в зоне реологических переходов электромагнитной энергии преобразования описываются интегральной импульсной дельта-функцией Дирака. В результате этого физические процессы реологических преобразований описаны нелинейными дифференциальными уравнениями. Для решения уравнений переноса импульса электромагнитной энергии использован метод нулевого градиента, что позволило получить описание магнитострикционного преобразователя в аналитической форме. На основании теории реологических преобразований теоретически и экспериментально исследованы электромеханические процессы,

которые происходят в магнитострикционном преобразователе, и получены математические модели преобразований электрического и ультразвукового сигналов. Установлено, что магнитострикционные преобразователи описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, что дало возможность изучить влияние нелинейности на метрологические характеристики магнитострикционного уровнемера жидких сред и разработать мероприятия по их улучшению. На основании физических моделей усовершенствован магнитострикционный уровнемер жидких сред за счет многократного отражения ультразвукового торсионного импульса в технологических аппаратах с расширенным диапазоном измерения. На основании теории реологических преобразований и метода нулевого градиента получены математические модели магнитострикционного преобразователя и уровнемера с многократным отражением ультразвукового торсионного импульса в аналитической форме и исследованы причины, которые влияют на зону нечувствительности и его метрологические характеристики. Разработаны математические модели магнитострикционного уровнемера для погрешностей измерения и выполнено их исследование методом интегрального функционала. На основании исследований влияния физических параметров волновода показано, что большие погрешности измерения имеет уровнемер при изменении температуры газовой и жидкостной сред. Разработаны алгоритмы введения поправок, что позволило практически в 2,75 раза уменьшить дополнительные погрешности измерений. Предложено структурную схему магнитострикционного уровнемера жидких сред с многократным отражением ультразвукового торсионного импульса, на основании которой разработано микропроцессорное устройство контроля параметров в статическом и динамическом режимах его работы. Разработаны алгоритмы обработки измерительной информации и программное обеспечение для расчета результатов измерений и их погрешностей.

Ключевые слова: точность, вероятность, чувствительность, контроль, магнитострикция, ультразвук, преобразователь, реология, модель, алгоритм.

Shapovalov O.I. Magnetostrictive Level Sensor of Liquid Media with Multiple Reflection of Ultrasonic Torsional Pulse. Manuscript.

Candidate of Engineering Science (PhD) thesis in speciality 05.11.13 “Devices and Methods of Control and Determination of Substance Composition” – Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, 2017. Defence will be held at the meeting of the Specialized Scientific Council D 64.050.09 at the National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2018.

The thesis is devoted to solving an important scientific and applied problem – development of the magnetostrictive level sensor of liquid media, which allows to increase efficiency of using capacities by reducing the dead zone, expanding the range and reducing the measurement errors.

On the basis of the rheological transformations theory, the electromechanical processes in the magnetostrictive transducer have been researched. Transducers are

described by nonlinear differential equations, allowing to study the influence of nonlinearity on the metrological characteristics of the level sensor and to develop measures for their improvement. The mathematical models of the proposed level sensor have been obtained in the analytical form. The study of measurement errors has been performed by the integral-type functional method. The structural scheme of the magnetostrictive level sensor with multiple reflection of the ultrasonic torsional pulse has been proposed, and the algorithms for the measuring information processing and the software for the microprocessor have been developed.

Key words: accuracy, probability, sensitivity, control, magnetostriction, ultrasound, transducer, rheology, model, algorithm.

Allano

Підписано до друку 06.04.2009 р. Формат 60x84/16.
Папір офсетн. Друк – різнографічний. Умовн. друк. арк. 0,9
Гарнітура Times New Roman. Наклад 100 прим. Замовлення №