

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Літвінова Костянтина Анатолійовича «Ультразвуковий рівнемір рідини з одноразовим поширенням ультразвукового імпульсу в газовому середовищі», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

1. Актуальність теми дисертації

На даний час контроль рівня рідини здійснюється у різноманітних галузях господарства України і дозволяє визначити не тільки ступень заповнення ємностей, але й масу, густину та інші параметри рідини.

Основною вимогою при розробці методів та пристроїв контролю рівня рідини є підвищення якості таких їх характеристик, як чутливість, діапазон вимірювання, невизначеність результату вимірювань та вірогідність контролю. Важливою задачею також є досягнення нечутливості рівнемірів до впливу зовнішніх факторів.

Для контролю рівня рідини в ємностях використовуються різні методи. Серед них найбільш поширені ультразвукові методи, які характеризуються простотою та надійністю в експлуатації, високою точністю, можливістю контролю рівня різноманітних рідин, у тому числі агресивних та вибухонебезпечних. Промислові рівнеміри мають механічний реперний пристрій, якій викликає велику зону нечутливості (до 1 м). Можливості широкого використання ультразвукових рівнемірів також стримуються невеликим діапазоном вимірювання (у більшості випадків до 10 м) та достатньо великою похибкою вимірювання.

Тому важливою науково-прикладною задачею вимірювального контролю рівня рідини є створення високоточних ультразвукових приладів та методів зменшення їх зони нечутливості, розширення діапазону вимірювань рівня

рідини у великотоннажних ємностях і у важкодоступних місцях об'єктів контролю.

Дисертаційна робота виконувалась в рамках таких госпдоговірних НДР: «Теоретичні та експериментальні дослідження ультразвукового рівнеміра з адаптивним випромінюючим сигналом» (ДР № 0107U001415), «Теоретичні та експериментальні дослідження ультразвукового рівнеміра з компенсуючим вхідним сигналом» (ДР № 0108U001818), «Теоретичні та експериментальні дослідження ультразвукового рівнеміра з магнітострикційним перетворювачем» (ДР № 0114U005450) та держбюджетної НДР «Розробка теоретичних основ явищ переносу на основі реологічних переходів і методу нульового градієнта» (ДР № 0109U00071), які виконувалися на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих систем Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.

Отже, тема дисертації, в якій за допомогою запропонованих методів розв'язується задача розробки ультразвукового рівнеміра, що дозволяє зменшити зону нечутливості та розширити діапазон і точність вимірювань рівня рідини, безумовно актуальна.

2. Зміст дисертації і основні результати в роботі

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність досліджень, поставлено їх мету та задачі, наведені методи досліджень, викладена наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану методів та засобів контролю рівня рідинних середовищ. Відзначені переваги та недоліки кожного методу. Розглянуто особливості побудови ультразвукових рівнемірів (УЗР) та їх переваги над іншими рівнемірами. Проаналізовано основні похибки УЗР при вимірюванні рівня рідини. Встановлено, що ці похибки зумовлені зміною температури, тиском та молекулярним складом газу. Проведено

аналіз методів зменшення похибок ультразвукових рівнемірів. Обґрунтовано необхідність подальшого удосконалення ультразвукового методу вимірювання рівня рідини з метою підвищення точності, розширення діапазону вимірювання та вірогідності контролю. Поставлені задачі дослідження для вирішення цієї мети.

У **другому розділі** здійснюється розробка математичних моделей перетворювачів ультразвукового рівнеміра рідини та дослідження їх характеристик. На основі аналізу фізичних процесів, які протікають під час роботи рівнеміра, надано схему функціональних перетворень в ультразвуковому випромінювачі (УЗВ), у газовому середовищі та в ультразвуковому приймачі (УЗП). Розглянуто принцип вимірювання рівня рідини запропонованим ультразвуковим рівнеміром з одностороннім поширенням ультразвукового імпульсу (УЗІ). Надано схему функціональних перетворень у газовому середовищі та в УЗП, а також вцілому схему незворотних функціональних перетворень в запропонованому ультразвуковому рівнемірі. Отримані диференціальні рівняння, які дозволяють розробляти математичну модель того чи іншого функціонального перетворення. За допомогою методу нульового градієнту отримано математичну модель функціонального перетворення електричної енергії збуджуючого імпульсу в електродинамічне зусилля, яке викликає переміщення пластини п'єзокерамічного елемента (ПКЕ) і коливання мембрани ПКЕ, розроблено математичну модель перенесення УЗІ у газовому середовищі, а також математичні моделі збудження УЗІ коливань мембрани і виникнення напруженості поля в УЗП. Розроблені математичні моделі дозволили отримати аналітичні вирази для розрахунку часу виміру та значення рівня рідини, яка контролюється.

Третій розділ присвячено розробці УЗР з одноразовим поширенням ультразвукового імпульсу в газовому середовищі. Запропоновано три схеми побудови такого УЗР: УЗР з одним УЗВ, УЗР з двома УЗВ та УЗР з трьома ультразвуковими випромінювачами-приймачами (УЗВП). Описано принцип

дії кожної схеми. Обґрунтовано доцільність та переваги використання у цих УЗР нового реперного алгоритму, який засновано на співвідношенні часу проходження одним і тим же УЗІ відстані при прямому ході та подвійної відстані при зворотному ході. Знайдено час вимірювання та похибку часу, яка додається з відповідним знаком до часу вимірювання з метою зменшення впливу змін зовнішнього чи внутрішнього факторів. Отримано математичну модель статичної характеристики УЗР, яка відображає залежність рівня рідини від часу виміру. Проведено чисельний розрахунок впливу зміни параметрів вимірювальної схеми УЗР, фізичних параметрів газу у ємності та характеристик функціональних перетворень сигналів на статичну характеристику УЗР.

Встановлено, що найбільше відхилення статичних характеристик відносно номінальної спостерігається на початку шкали. Процес перенесення енергії ЕЗІ в ПКЕ суттєво впливає на нелінійність статичної характеристики. Її нелінійність також збільшується зі зменшенням дійсного значення рівня рідини.

Отримані матричним методом коефіцієнти функціональних перетворень в УЗР з урахуванням зовнішніх та внутрішніх впливових факторів, котрі викликають додаткові похибки. Досліджено температурні похибки УЗР, похибки, зумовлені зміною тиску газу та його молекулярного складу, а також одночасною зміною температури та тиску газу. Вивчено вплив зміни напруги ЕЗІ, зміщення фази УЗІ та опорної напруги на похибки вимірювання.

Встановлено, що одночасне збільшення температури і зменшення тиску викликає найбільше відхилення статичної характеристики від номінальної. При зменшенні молекулярного складу газу від номінального (повітря) похибки зростають. Похибки від зміни напруги ЕЗІ практично не залежать від рівня рідини. Найбільш оптимальним є початковий кут зсуву ПКЕ $\varphi = 0,5$, при якому похибка вимірювання є мінімальною. При зменшенні опорної напруги похибка вимірювання зростає.

За допомогою методів квадратур та нульового градієнту отримано аналітичну залежність рівня вимірювання рідини у динамічному режимі (у часі). Знайдено час, протягом якого динамічний режим УЗР досягає статичного режиму.

У **четвертому розділі** надано апаратну реалізацію та експериментальні дослідження УЗР з одноразовим поширенням ультразвукового імпульсу в газовому середовищі. Розроблені рекомендації щодо проектування УЗР, надано методичку його градування та отримано градувальну характеристику УЗР.

Розроблено експериментальну установку, методичку виконання експериментальних досліджень та проведено дослідження статичних характеристик розробленого УЗР. Отримані градувальні характеристики УЗР для різних діапазонів вимірювання. Встановлено, що зі зменшенням діапазону вимірювання нелінійність характеристики зменшується. Результати експерименту показали, що відхилення експериментальної статичної характеристики від теоретичної не перевищує 1,5 %.

Проведені експериментальні дослідження додаткових похибок вимірювання, зумовлених зміною температури газу, тиску газу, його молекулярного складу, напруги ЕЗІ, зміщенням фази УЗІ, підтвердили основні теоретичні положення. Встановлено, що додаткова похибка, яка зумовлена зміною температури газу від -30°C до $+50^{\circ}\text{C}$, менш ніж 50% від основної. Похибка, викликана зміною тиску газу, не перевищує основну.

Надано оцінку вірогідності контролю рівня рідини, адекватності результатів експерименту. Зроблено порівняння характеристик розробленого рівнеміра з існуючими. Проведене порівняння показало, що розроблений УЗР забезпечує, як мінімум, на 4% вищу вірогідність контролю, меншу в 3 рази зону нечутливості (до 200 мм), більший ніж у 2 рази ширший діапазон вимірювання, при цьому основна зведена похибка вимірювання складає 0,2%.

У **додатках** наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, програм розрахунку і результатів моделювання функціональних перетворень в МСР, статичних характеристик і похибок вимірювання, список опублікованих праць за темою дисертації.

У **висновках** наведено основні результати досліджень.

3. Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації

Оцінити позитивно ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень розроблених математичних моделей і рекомендацій, наведених в дисертації, дозволяє використання в теоретичних дослідженнях фундаментальних засад теорій вимірювальних перетворювачів, реологічних переходів і перетворень імпульсу маси, енергії та кількості руху, теорій ймовірності та випадкових процесів, математичної статистики та похибок, методів нульового градієнту, математичного, фізичного та комп'ютерного моделювання.

Основні теоретичні висновки підтверджені експериментальними дослідженнями.

Можна стверджувати, що вихідні положення дисертації є коректними, одержані результати логічно та математично аргументовані. Результати теоретичних досліджень, методи підвищення його технічних та метрологічних характеристик при розробці УЗР з одноразовим поширенням УЗІ показали свою працездатність і впроваджені на науково-виробничому підприємстві України та в навчальному процесі, про що свідчать акти впровадження.

4. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна матеріалів дисертації полягає в тому, що:

1. Розроблено метод підвищення якості технічних і метрологічних характеристик УЗР за рахунок зменшення часу проходження УЗІ скрізь товщу га-

зового середовища, що дозволило розширити діапазон вимірювання рівня рідини у 2 рази, та зменшити додаткові похибки вимірювання до двох разів.

2. Розроблено і науково обґрунтовано метод реперного алгоритму, який дозволяє виключити використання в УЗР механічних реперних пристроїв та зменшити зону нечутливості до трьох разів.

3. Розроблено і науково обґрунтовано спосіб підвищення точності УЗР за рахунок того, що УЗІ, якій зондує, не стикається з рідиною і, відповідно, не поглинається нею.

4. Отримали подальший розвиток математичні моделі процесів перенесення УЗІ, які враховують зміну фази зміщення переднього фронту УЗІ, що дозволило установити додаткову похибку і підвищити точність вимірювання на 5%.

5. Практичне значення

Розроблені математичні моделі фізичних процесів, які протікають під час роботи УЗР, запропонована конструкція УЗР та метод підвищення якості його технічних і метрологічних характеристик, алгоритми обробки вимірювальної інформації, методика градуювання та програмне забезпечення рівнеміра - є основою для створення ефективних промислових ультразвукових приладів контролю рівня рідини, які відрізняються більш високим діапазоном вимірювання, точністю та достовірністю контролю. Дані прилади можна використати для контролю рівня рідини у великотонажних ємностях та тренажерних каналах в різноманітних галузях промисловості.

Результати роботи впровадженні на науково-виробничому підприємстві «Мікротерм» (м. Северодонецьк) , а також у навчальний процес у Східноукраїнському національному університеті ім. В. Даля для виконання лабораторних робіт та проведення лекційних занять для підготовки студентів зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

6. Перспективи використання результатів роботи

Результати проведених досліджень можуть бути застосовані в різноманітних галузях господарства України, на підприємствах та організаціях, в конструкторських бюро та проектних інститутах, де проводиться розробка, виготовлення та експлуатація пристроїв та систем контролю рівня та інших параметрів рідинних середовищ.

7. Повнота викладення результатів в опублікованих працях

Основний зміст дисертації відображено у 31 наукових публікаціях, з них: 18 статей у наукових фахових виданнях, які рекомендовані ДАК України (з них 1 стаття у закордонному виданні, 9 у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз: SKOPUS – 3 статті, INDEX COPERNIKUS- 6 статей та 4 статті опубліковано одноосібно), 1 патент України на винахід та 2 - на корисну модель, 10- у тезах доповідей конференцій.

Дисертація пройшла апробацію на 10 всеукраїнських та міжнародних наукових, науково-технічних та науково-практичних конференціях.

Це дозволяє зробити висновок про ознайомлення широкого кола науковців з основними положеннями дисертаційної роботи. В опублікованих працях забезпечена повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи.

8. Оформлення дисертаційної роботи

Матеріал роботи викладено, за деяким виключенням, послідовно, грамотно, математично коректно з використанням загальноприйнятої термінології та з дотриманням сучасних правил подання наукової інформації. Дисертацію та автореферат оформлено згідно до вимог оформлення науково-технічної документації. Результати дослідження достатньо проілюстровані графічним матеріалом.

Автореферат ідентичний за змістом основним науковим положенням, висновкам та результатам дисертації.

Таким чином, дисертаційна робота та автореферат за змістом і оформленням відповідають вимогам ДАК вищої кваліфікації МОН України.

9. Зауваження за дисертацією

До недоліків дисертації можна віднести наступне:

1. У підрозділі 2.3 сказано, що електричний збуджуючий імпульс (ЕЗІ) формується у формі розряду конденсатора. У роботі не обґрунтовано, чому при вивченні процесів перетворення зондуєчого сигналу ЕЗІ приймається як прямокутній імпульс (рис.2.6) і не враховується постійна часу розряду конденсатора, яка могла б впливати на фазу зміщення УЗІ.
2. Не описана фізична суть потенціалу перенесення.
3. У рівнянні (2.6) $v_{(\Theta, r)}$ позначено як поле швидкостей. Не обґрунтовано, чому при виведенні рівняння (2.8) $v_{(\Theta, r)}$ приймають як конвекційну складову і обнуляють. Сам процес отримання рівняння (2.8) також вимагає пояснення.
4. У рівнянні 2.14 не вказаний фізичний сенс постійних часу τ_1 і τ_2 .
5. У формулі (2.22) введена частота коливань мембрани ω_e , але від яких параметрів вона залежить, не вказано.

Далі в (2.31) введена частота ω_{BO} , що означає власну частоту коливань ПКЕ. Далі отримують рівняння (2.43) руху мембрани, частота коливань якої залежить тільки від ω_{BO} , що не відповідає дійсності.

Насправді мембрана здійснює не власні коливання, а вимушені коливання під впливом ПКЕ і частота УЗІ відповідатиме навіть не власній частоті коливань ПКЕ, а частоті коливань двошарової структури у вигляді ПКЕ і жорстко з нею пов'язаною мембраною і ця частота відрізнятиметься від ω_{BO} . Отже, частота коливань УЗІ в газовому середовищі (рівняння 2.61) не дорівнюватиме ω_{BO} .

6. У рівнянні (2.65) немає пояснення причин виникнення і фізичного сенсу двох постійних τ_{12} і τ_{22} .
7. За аналізом поведінки кривих на рис. 2.13 робиться висновок, що статична характеристика рівнеміра є нелінійною. Проте, усі приведені залежності на цьому рисунку є лінійними.
8. У підрозділі 2.7 сказано, що рівняння (2.70) виходить з (2.69). Але (2.69) це рівняння для ЕРС, а (2.70) це рівняння для знову введеної і нерозшифрованої величини N_{II} . Те ж саме стосується і рівняння (2.71).
9. Відзначений у підрозділі 3.1 результат, який вказує, що за рахунок зменшення товщини газу в 2 рази точність виміру також зростає в 2 рази, приведений без доказу.
10. У підрозділі 3.2 запропонована схема рівнеміра з трьома УЗВП (рис. 3.3). Наскільки застосована до цієї схеми розроблена в розділі 2 теорія функціональних перетворень не пояснюється.
- Слід також відзначити, що в основу роботи цієї схеми покладений метод реперного алгоритму. Тому рівність $K_{TH} = K_L = 2$, яка визначає справедливність застосування цього методу для схеми УЗР, вимагає доказу, оскільки K_L визначається швидкістю і часом проходження УЗІ в газі, а K_{TH} - враховує ще й швидкість та час проходження УЗІ в кабелі. При цьому час проходження УЗІ в кабелі залежить від його довжини.
11. У підрозділі 3.4.8 не дано обґрунтування прийнятому допущенню, що в приймачі існують незгасаючі коливання мембрани і ПКЕ, а в передавачі - незгасаючі коливання тільки в мембрані і затухаючі (аперіодичний ланцюг) в ПКЕ. Насправді, в передавачі коливання мембрани і ПКЕ, як жорстко пов'язаної системи, мають бути однакові.
12. Принцип реперного алгоритму описаний тільки для схеми, яку зображено на рис 3.2. У розділі 4.4 і 4.5 використовується інша схема (рис. 4.12), реперний алгоритм якої раніше не було розглянуто.

Але ці зауваження не торкаються принципових положень роботи і не знижують її позитивної оцінки.

10. Загальний висновок по дисертації

З урахування вищенаведеного можна зробити висновок, що роботу здобувача Літвінова Костянтина Анатолійовича «Ультразвуковий рівнемір рідини з одноразовим поширенням ультразвукового імпульсу в газовому середовищі», слід вважати закінченим науковим дослідженням.

В роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують важливу для господарства України науково-прикладну задачу створення багатоцільових високоточних приладів контролю рівня рідинних середовищ в галузі неруйнівних методів контролю.

Робота відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07. 2013 р. № 567 (зі змінами), а її автор, Літвінов К. А., заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри
«Метрологія та безпека життєдіяльності»
Харківського національного
автомобільно-дорожнього Університету

В.Д. Сахацький

27.03.18



Відомості про дисертацію
Відомості про автора дисертації
29 березня 2018
Літвінов Костянтин К.О.