

УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Запропоновано структуру мікропроцесорної системи експрес-контролю параметрів водного середовища, яка дозволяє проводити одночасне вимірювання вихрового компонента швидкості течії, напрямку і складових швидкості течії та швидкості звуку.

Вступ. Однією з актуальних проблем інформаційно-виміральної техніки є розробка методів побудови автоматизованих систем експрес-контролю параметрів водного середовища. Для проведення експрес-контролю заразособливо перспективним є ультразвуковий метод. Його переваги - це простота, надійність, висока швидкодія, достатня точність тощо.

У роботі [1] запропоновано ультразвуковий метод визначення вихрового компонента швидкості течії (ВКШТ), який полягає у вимірюванні циркуляції вектора швидкості v вздовж контура L_k , пропорційної середньому значенню ВКШТ $\text{rot}_n v$ по площі S . Циркуляцію вектора швидкості визначають, вимірюючи часові параметри ультразвукових сигналів T_+ , T_- , і T_x вздовж акустичного контура:

$$\text{rot}_n v = K_v T_x / (T_+ T_-), \quad (1)$$

де $T_x = T_+ - T_-$; T_+ і T_- - часи обходу ультразвукових сигналів по контуру в протилежних напрямках, $K_v = L_k^2 / 2S$; L_k - довжина акустичного контура; S - площа контура.

Акустичний контур є правильним багатокутником, у вершинах якого розташовані ультразвукові перетворювачі.

Методи побудови систем вимірювання ВКШТ описані у [2].

На сьогодні для визначення ВКШТ, швидкості звуку та течії розроблені або окремі прилади, або окремі канали у складі інформаційно-вимірвальних систем [3-6].

Метою роботи є розроблення нового підходу та автоматизованої системи одночасного визначення цих параметрів, поклавши в основу вимірювання ВКШТ.

Принципи побудови та структура ультразвукової системи експрес-контролю параметрів водного середовища. Розглянемо вимірвальний акустичний контур у вигляді квадрата ABCD, у вершинах якого розміщені ультразвукові обернені перетворювачі (рис. 1). У геометричному центрі контура розташовано пристрій для вимірювання напрямку на магнітний меридіан. Визначимо часи поширення сигналів від перетворювача, розташованого у точці А, до перетворювача, розміщеного в точці В, і у зворотному напрямку:

$$T_{AB} = \int_A^B dL/C_{AB} = \int_A^B dL/[f(C_0, t, S, p) + vl_s] = L_{AB}/f(C_0, t, S, p) + v \sin \alpha; \quad (2)$$

$$T_{BA} = \int_B^A dL/C_{BA} = \int_B^A dL/[f(C_0, t, S, p) - vl_s] = L_{BA}/f(C_0, t, S, p) - v \sin \alpha; \quad (3)$$

де L - відстань між ультразвуковими перетворювачами; C - швидкість звуку; C_0 - швидкість звуку в нерухомому середовищі; v - швидкість течії; α - кут між швидкістю течії і напрямком поширення ультразвукових сигналів; t - температура; S - солоність; p - тиск; l_s - одиничний вектор.

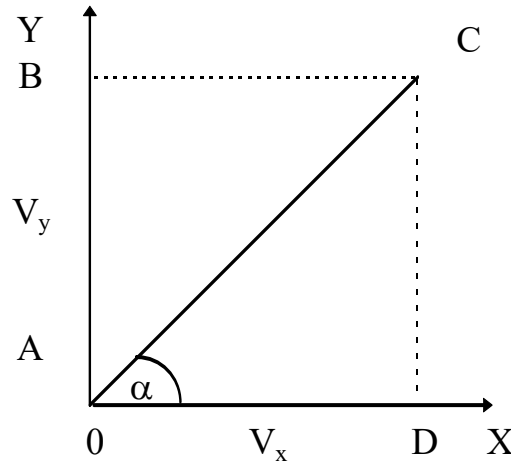


Рис.1. Акустичний вимірювальний контур.

Відповідно, часи поширення сигналів від перетворювача, розташованого у точці А, до перетворювача, розташованого у точці D, і у зворотному напрямку, можна описати так:

$$T_{AD} = L_{AD} / f(C_0, t, S, p) + v l_s = L_{AD} / f(C_0, t, S, p) + v \cos \alpha, \quad (4)$$

$$T_{DA} = L_{DA} / C_{DA} = L_{DA} / f(C_0, t, S, p) - v \cos \alpha. \quad (5)$$

Залежність швидкості звуку у морській воді від температури, солоності і тиску подамо у вигляді формули Дель-Гроссо [3]:

$$C = C_0 + \Delta C_t + \Delta C_s + \Delta C_p + \Delta C_{tsp}, \quad (6)$$

де $\Delta C_t = 5,011094t - 0,0550947t^2 + 0,00221536t^3$,

$$\Delta C_s = 1,329523 + 0,00126S^2,$$

$$\Delta C_p = 0,000159p + 2,54755 \cdot 10^{-1}p^2 - 9,3668 \cdot 10^{-2}p^3,$$

$$\Delta C_{tsp} = 1,2756 \cdot 10^{-2}tS + 6,4772 \cdot 10^{-8}tp + 2,7606 \cdot 10^{-18}t^2p^2 +$$

$$+ 1,6565 \cdot 10^{-16}tp^2 + 5,536 \cdot 10^{-1}tp^3 - 4,4667 \cdot 10^{-12}t^3p -$$

$$-1,6811 \cdot 10^{-19}Sp^2 + 9,684 \cdot 10^{-5}St^2 + 9,522 \cdot 10^{-11}tpS^2 - 4,7313 \cdot 10^{-9}Stp,$$

де $C_0 = 1402,39$ м/с, t вимірюється у $^{\circ}C$, S - у ‰, p - у $кг/см^2$.

Щоб виконувати математичні обчислення в реальному часі і збільшити швидкодію пристрою відбору інформації, використовувалася спрощена формула

$$C = C_0 + \Delta C_t + \Delta C_s + \Delta C_H, \quad (7)$$

де $\Delta C_t = 4,206t + 0,0366t^2$; $\Delta C_s = 1,137S$; $\Delta C_H = 0,0175H$.

Використовуючи вирази (2) - (5), можна визначити компоненти швидкості течії v_x та v_y :

$$v_x = C_{AD} - C_{DA} = L/2 [(1/T_{AD} - 1/T_{DA})] = L/2 [(T_{DA} - T_{AD})/(T_{AD}T_{DA})], \quad (8)$$

$$v_y = C_{AB} - C_{BA} = L/2 [(1/T_{AB} - 1/T_{BA})] = L/2 [(T_{BA} - T_{AB})/(T_{AB}T_{BA})]. \quad (9)$$

Швидкість звуку в нерухомій рідині C_0 визначиться з наступного виразу:

$$C_0 = (C_{AB} + C_{BA})/2 = L/2 [(1/T_{AB} + 1/T_{BA})] = L/2 [(T_{AB} + T_{BA})/(T_{AB}T_{BA})]. \quad (10)$$

Використовуючи вираз (1), отримаємо формулу для визначення ВКШТ $rot_n v$ для даного контура - квадрата, яка матиме такий вигляд:

$$rot_n v = L_k^2/2S [(T_{ABCD} - T_{ADCBA})/(T_{ABCD}T_{ADCBA})]. \quad (11)$$

Якщо сторони квадрата $AB = BC = CD = DA = L$, то вираз (11) виглядатиме

$$rot_n v = 8 [(T_{ABCD} - T_{ADCBA})/(T_{ABCD}T_{ADCBA})]. \quad (12)$$

Отже, швидкість течії та ВКШТ є інваріантними щодо швидкості звуку. Швидкість звуку в нерухомій рідині C_0 залежить від температури, солоності та тиску води, що очевидно з формули (7).

Для визначення напрямку на магнітний меридіан доцільно використати пристрій, описаний у [4].

Для автоматизованого вимірювання швидкості звуку, компонентів швидкості течії, ВКШТ та напрямку на магнітний меридіан ϕ доцільно використати мікроконтролер. Структурна схема ультразвукової системи для визначення параметрів C , v_x , v_y , $rot_n v$, кута ϕ подана на рис. 2.

Ультразвукова мікропроцесорна система експрес-контролю параметрів водного середовища містить ультразвукові перетворювачі УП1...УП4, сенсор напрямку СН, комутатор К, триканальний приймач П, імпульсний генератор ІГ, часовий селектор ЧС, пристрій вимірювання часових зсувів ПВЧЗ, пристрій вимірювання часу поширення ультразвуку між перетворювачами ПВЧП, мікроконтролер МК, табло індикації Т і пристрій зв'язку з ЕОМ.

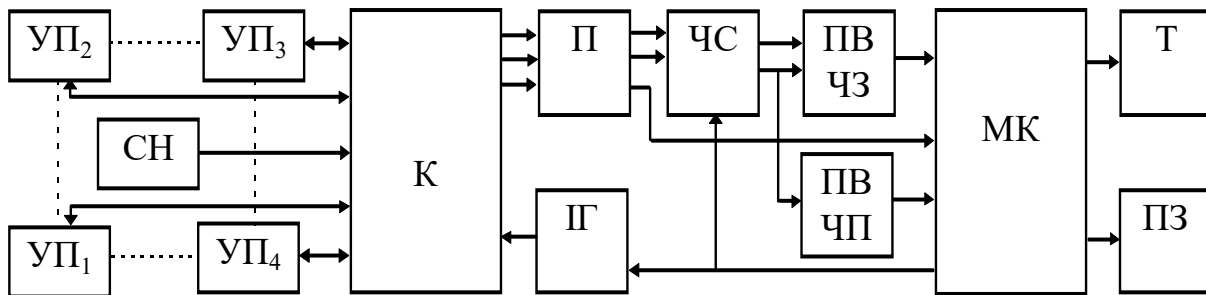


Рис. 2. Структурна схема ультразвукової системи експрес-контролю параметрів водного середовища.

Ультразвукові перетворювачі УП1...УП4 виконані на основі п'єзоелементів і утворюють вимірювальний контур у вигляді квадрата.

Контроль параметрів водного середовища відбувається за шість тактів, щозадаються МК.

У першому такті роботи за командою МК комутатор К підключає до ультразвукових перетворювачів УП1 і УП2 імпульсний генератор ІГ. Перетворювачі УП1 і УП2 одночасно випромінюють ультразвукові імпульси заданої тривалості і частоти, що приймаються цими ж перетворювачами через інтервали часу T_{12} і T_{21} . При плоских поверхнях ультразвукових перетворювачів виникають багаторазові відбиття між ними. Часовий селектор ЧС дозволяє вибирати задану кількість відбитих сигналів і підвищити завадостійкість системи, оскільки усувається вплив сигналу зондування. На

виході блоків ПВЧЗ і ПВЧП формуються часові інтервали, пропорційні часовому зсувові між сигналами τ_1 і часом поширення сигналів T_{12} . Перетворювач часового зсуву побудований за оригінальною схемою [7] і має високі метрологічні характеристики. Часові інтервали τ_1 та T_{11} подаються на МК.

У другому такті роботи за командою МК запускається ІГ, до якого комутатор К підключає ультразвукові перетворювачі УП2 і УП3. Потім відбувається процес випромінювання та приймання відбитих сигналів цими ж перетворювачами. На виходах блоків ПВЧЗ і ПВЧП формуються часові інтервали τ_2 і T_{23} , що подаються на МК.

У третьому такті комутатор підключає до ІГ ультразвукові перетворювачі УП3 і УП4. На виході блоків ПВЧЗ і ПВЧП формуються часові інтервали τ_3 і T_{34} , які подаються на МК.

У четвертому такті комутатор підключає до ІГ ультразвукові перетворювачі УП1 і УП4. На виході блоків ПВЧЗ і ПВЧП формуються часові інтервали τ_4 і T_{41} , що теж подаються на МК.

У п'ятому такті на МК надходять сигнали від сенсора напрямку СН. Сенсор напрямку може бути виконаний за схемами, описаними у [4].

У шостому такті мікроконтролер МК реалізовує обчислювальні процедури за формулами (8)...(10) і (12), причому час поширення сигналів буде визначатися з виразу

$$T_{mn} = T_{nm} + \tau_n, \quad (13)$$

Мікроконтролер дозволить обчислити модуль швидкості течії за співвідношенням

$$v = (v_x^2 + v_y^2)^{1/2}. \quad (14)$$

Крім того, з допомогою мікроконтролера з'явиться можливість визначати середні значення цих параметрів протягом певного заданого проміжку часу T_c , середньоквадратичні відхилення від цих значень тощо. При цьому можна визначати відносні пульсації течії [8]:

$$\delta v = (v_{i1} - v_{i0}) / v_{i0}; \quad (15)$$

де $v_{i0} = \frac{1}{T_c} \int_{T_i}^{T_i+T_c} v(t) dt;$

$$v_{i1} = \frac{1}{T_c + \Delta T_c} \int_{T_i+T_c}^{T_i+T_c+\Delta T_c} v(t) dt;$$

де v_{i0} - швидкість течії, середня для інтервалу часу $[T_i, T_i + T_c]$;

v_{i1} - швидкості течії, середня для інтервалу часу $[T_i + T_c, T_i + T_c + \Delta T_c]$. За аналогічними формулами можна визначати відносні пульсації швидкості звуку та ВКШТ.

Висновки. Запропоновано методи побудови та структуру ультразвукової мікропроцесорної системи експрес-контролю параметрів водного середовища, яка дозволяє проводити одночасне вимірювання вихрового компонента швидкості течії, напрямку і компонентів швидкості течії та швидкості звуку. Використання мікроконтролера дозволить автоматизувати процес вимірювання, визначати статистичні характеристики вказаних параметрів, зокрема середні значення, середньоквадратичні відхилення тощо.

Література

1. Погребенник В.Д., Свенсон А.Н. Методы измерения вихревого компонента скорости течения. - Львов, 1987. - 48с. (Препр. / АН УССР. Физико-механический ин-т им.Г.В.Карпенко №124).
2. Погребенник В.Д., Свенсон А.Н. Системы измерения вихревого компонента скорости течения. - Львов, 1987. - 47с. (Препр. АН УССР. Физико-механический ин-т им.Г.В.Карпенко №125).
3. Бабий В.И. Мелкомасштабная структура поля скорости звука в океане. - Л. : Гидрометеиздат, 1983. - 200 с.
4. Нелепо Б.А., Смирнов Г.В., Шадрин А.Б. Интегрированные системы для гидрофизических исследований. - Л.: Гидрометеиздат. 1990. - 239с.
5. Автоматизированные системы контроля состояния морской среды : Сб. науч. Тр. / АН Украины. МГИ. - Севастополь, 1992. - 155 с.
6. Системы контроля окружающей среды : Сб. науч. Тр. / НАН Украины. МГИ. - Севастополь, 1999. - 303 с.
7. Погребенник В.Д. Помехоустойчивые методы и средства измерения временных параметров импульсных сигналов // Mechanizacja I Automatyzacja Gornictwa, 1997, N 1. - S. 47- 58
8. А.с.1168843 СССР, МКИ G01 N 29/00. Способ измерения относительных пульсаций скорости ультразвука в движущейся среде / А.В Рагаускас, В.Г. Данилов (СССР)- № 3670569/25; Заявлено 28.10.83; Опубл. 23.07.85, Бюл. № 27. - 1 с.

Одержано 25.02.2000 р.