

УДК 532.593

## СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВИХ ХВИЛЬ

В. Ю. Філімонов<sup>†</sup>, О. О. Кот, Ю. В. Горський, Д. В. Ярош

*Інститут гідромеханіки НАН України, МСП*

*вул. Желябова, 8/4, 03680, Київ, Україна*

*<sup>†</sup>E-mail: [office@hydromech.com.ua](mailto:office@hydromech.com.ua)*

*Отримано 23.09.2015*

У статті представлені результати розробки системи реєстрації параметрів поверхневих хвиль, яка призначена для забезпечення експериментів у дослідних басейнах. Обґрунтовано вибір методу вимірювання поверхневого хвилювання. Описано принцип дії та будову системи. Розглянуті особливості роботи з оригінальним програмним забезпеченням. Розроблена система дозволяє досліджувати хвилі з періодом понад 0.1...0.3 с і висотою від 1 до 400 мм. Її роздільна здатність становить 12 біт. Розроблені датчики хвилювання належать до ємнісного типу. За рахунок електронної комутації каналів передбачено одночасне використання до восьми спеціалізованих датчиків. Датчики хвилювання можуть встановлюватись на віддаленні до 15 м від приладу перетворення і передачі інформації, з'єданого з приладом приймання й уведення інформації кабельною лінією зв'язку, максимальна довжина якої становить 1000 м. При цьому можливо визначати напрям і швидкість поширення хвиль, відображати на екрані комп'ютерного монітора результати у вигляді графіка, зберігати зареєстровані дані, розраховувати висоту хвиль. Існує можливість програмного вибору бажаних каналів для обробки результатів. Передбачено додатковий вихід аналогового сигналу з амплітудою до 5 В для підключення зовнішнього АЦП з використанням програмного забезпечення типу Power Graph чи Labview. Наведені приклади використання системи при дослідженнях корабельних поверхневих хвиль.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *вимірювання рівня, датчик хвилювання, пристрій, мікроконтролер, програмне забезпечення*

### 1. ВСТУП

Поверхнєве хвилювання можна розглядати як зміщення рівня поверхні розділу повітря–рідина. Сьогодні існує багато контактних і безконтактних способів вимірювання рівня рідини [1–5] — гідростатичні, поплавкові, ємнісні, індуктивні, кондуктометричні, оптичні, радіоізотопні, мікрохвильові, радіохвильові, акустичні (ультразвукові) та ін.

З точки зору мінімізації спотворення зареєстрованої хвильової картини за рахунок елементів конструкції вимірювальних систем суттєву перевагу мають дистанційні методи — оптичні, мікрохвильові, радіохвильові та акустичні. Точність дистанційного вимірювання відстані достатньо висока  $\sim (0.1 \dots 0.5)\%$  і залежить від частоти випромінювання: чим більша частота випромінювання, тим вища точність вимірювання. Однак використання дистанційних методів обмежено їхньою низькою просторовою роздільною здатністю (низькою здатністю просторового розрізнення), яка залежить від миттєвого кута огляду системи й відстані до поверхні розділу повітря–рідина. До того ж, дистанційні методи, які використовують суміщений випромінювач–приймальник, дозволяють достовірно вимірювати висоту хвилі при кутах нахилу поверхні рідини, не більших за  $\pm 3^\circ$  [3].

Контактні методи вимірювання рівня мають високу просторову роздільну здатність. При цьому досить легко створити багатодатчикову вимірювальну систему, необхідну для визначення фазових характеристик хвиль. Однак елементи конструкції датчиків можуть спотворювати хвильову картину. Такі спотворення мають враховуватися при встановленні й використанні датчиків, а також при подальшій обробці отриманої інформації.

При проведенні експериментів в дослідному басейні і обробці інформації слід керуватись рекомендаціями міжнародної конференції ІТТС [6].

Для забезпечення реєстрації хвильової картини з похибкою, яка не перевищує 1% при рівномірній дискретизації згідно з [7] необхідно мати 22 відліки на мінімальну довжину хвилі  $\lambda = 1.56T^2$ . Для хвилі з мінімальним періодом  $T = 0.1 \dots 0.3$  с мінімальна довжина хвилі буде 15.6...140.4 мм. При цьому розмір роздільного елемента вимірювального перетворювача не повинен перевищувати 0.7...6.4 мм.

Зауважимо, що жоден з розглянутих в [1–5] дистанційних чи контактних засобів вимірювання, не здатний забезпечити таке просторове розділення. Лише кондуктометричні, термокондуктометричні та ємнісні рівнеміри мають близькі значення роздільного елемента. При цьому вони суттєво поступаються іншим пристроям за точністю вимірювання. Окрім того, кондуктометричні й термокондуктометричні рівнеміри працюють лише в середовищах з електричною провідністю, не меншою за 1 мкС/см [3].

Найдоцільнішим з цієї точки зору є вимірювання поверхневого хвилювання за допомогою ємнісних контактних датчиків. Вони використовують залежність електричної ємності перетворювача, який складається з одного або декількох стержнів, циліндрів чи пластин, частково занурених у рідину. Електроди ємнісних перетворювачів для рідин, які проводять електричний струм, обов'язково повинні мати електричну ізоляцію. Також при використанні багатодатчикової системи при проведенні вимірювань у водному середовищі електроди ємнісних перетворювачів слід електрично ізолювати для виключення їх взаємовпливу.

При частковому зануренні перетворювача в рідину його ємність має вигляд паралельного з'єднання конденсаторів  $C_1$  і  $C_2$ . У конденсатора  $C_1$  міжелектродний простір містить контрольовану рідину, а у  $C_2$  — газ над рідиною (повітря). Для циліндричного конденсатора сумарна ємність має вигляд [2]

$$C = C_1 + C_2 = \frac{2\pi}{\ln(d_2/d_1)} (\varepsilon_{\text{ж}}\varepsilon_0 h + \varepsilon_{\text{т}}\varepsilon_0 (H - h)), \quad (1)$$



де  $\varepsilon_{ж}$ ,  $\varepsilon_{т}$  — діелектричні проникності речовин, що заповнюють міжелектродний простір (рідини й газу відповідно),  $\varepsilon_0$  — діелектрична проникність вакууму,  $H$  — висота електродів,  $h$  — глибина занурення електродів,  $d_1$  і  $d_2$  — діаметри внутрішнього і зовнішнього електродів відповідно.

Для плоского конденсатора ємність визначається як

$$C = C_1 + C_2 = \varepsilon_{ж}\varepsilon_0 aH + \varepsilon_{т}\varepsilon_0 a(H - h), \quad (2)$$

де  $a = b/\delta$  — конструктивний параметр перетворювача, який залежить від ширини електродів  $b$  й відстані між електродами  $\delta$ ,  $Hb = S$  — площа поверхні електродів. У випадку ізоляції електрода покриттям з діелектричною провідністю  $\varepsilon_1$  вимірювальний зонд треба розглядати як багатошаровий конденсатор.

Ємність можна вимірювати, наприклад, за допомогою резонансних схем або мостів змінного струму. Залежно від діапазону вимірювання, зонд можна створити з дроту, дротового тросу, металевого стержня чи трубки. Точність вимірювання залежить від конструкції, ізоляції та умов розміщення ємнісного зонду.

Для забезпечення експериментальних досліджень у дослідних басейнах Інституту гідромеханіки НАН України розроблено систему реєстрації параметрів поверхневого хвилювання з періодом понад 0.1...0.3 с і висотою від 1 до 400 мм. Роздільна здатність системи становить 12 біт. Вона дозволяє визначати напрям і швидкість поширення хвиль, відображати на екрані монітора результати досліджень у вигляді графіка, зберігати дані, розраховувати висоту хвиль. Передбачено додатковий вихід аналогового сигналу з амплітудою до 5 В для підключення зовнішнього АЦП з використанням програмного забезпечення типу Power Graph, Labview.

Датчики хвилювання можуть бути встановлені на віддаленні до 15 м від приладу перетворення й передачі інформації (УППИ)<sup>1</sup>, з'єднаного з приладом приймання і введення інформації (УПВИ) за допомогою кабельної лінії зв'язку (ЛС), максимальна довжина якої може досягати 1000 м. Конструктивне виконання УППИ і УПВИ щодо захисту від потрапляння пилу та вологи відповідає рівню IP65.

Загалом було створено три системи реєстрації параметрів хвиль (СРПВ) для роботи в різних умовах: у дослідних басейнах, у водних відкритих полігонах і в каналах. Ці системи відрізняються конструкцією датчиків і діапазоном вимірювання висоти хвиль. Нижче буде описано склад і принцип роботи СРПВ з додатковим аналоговим виходом для підключення зовнішнього АЦП.

## 2. СКЛАД І ПРИНЦИП РОБОТИ СРПВ

Система, структурну схему якої наведено на Рис. 1, складається з датчиків поверхневого хвилювання (ДВ) зі з'єднувальними кабелями, приладу перетворення й передачі інформації (УППИ), лінії зв'язку (ЛС), приладу приймання й введення інформації (УПВИ). Останній забезпечує під'єднання до персонального комп'ютера і конструктивно об'єднаний з блоком живлення (БП). Система містить вісім окремих датчиків поверхневого хвилювання (ДВ). Електричне живлення системи здійснюється від мережі

<sup>1</sup>Тут і далі аббревіатури відповідають російськомовним назвам пристроїв і блоків, які використовувались у конструкторській документації. Це ж стосується й програмного забезпечення (див. нижче).

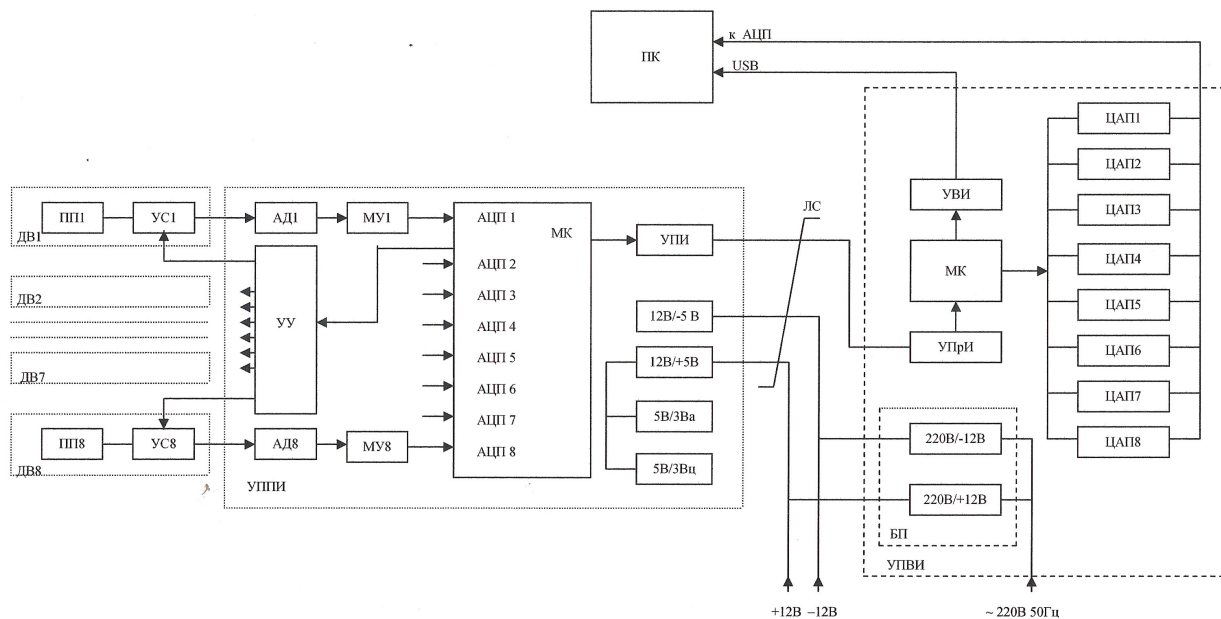


Рис. 1. Структурна схема системи СРПВ

змінного струму 220 В 50 Гц або від двох автономних джерел постійного струму з номінальною напругою 12 В.

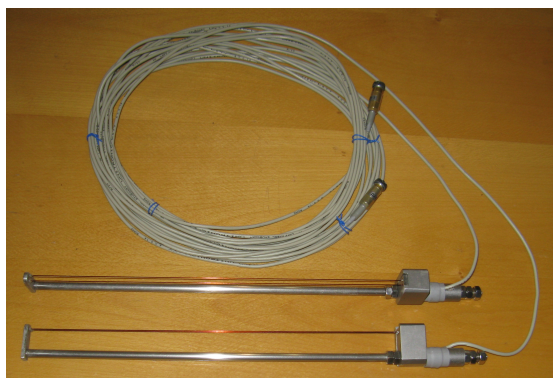


Рис. 2. Датчики хвилювання ДВ

стержень розташовується вертикально й занурюється на половину довжини ізолюваних дротів у воду (при вимірюваннях на глибокій воді). У нижній частині стержня приварено планку, призначену для кріплення нижніх кінців ізолюваних дротів на відстані 20 мм від стержня. Верхні кінці дротів заведені через сталеву планку до герметичного прямокутного корпусу з діелектричного матеріалу. Для забезпечення необхідного натягу ізолюваних дротів корпус із планкою за допомогою різьбового з'єднання може переміщуватись по верхній частині стержня. Усередині герметичного корпусу встановлено пристрій узгодження (УС).

Похибка визначення висоти хвилі та просторова роздільна здатність системи вимірювання параметрів хвиль залежать від конструкції ДВ. Як уже зазначалось, у створеному ДВ вимірюється зміна ємності між двома ізолюваними дротами діаметром

0.6...1.0 мм, натягнутими паралельно на відстані 4...5 мм. При таких геометричних параметрах реалізується просторова роздільна здатність, яка становить 4...5 мм в одному й 0.6...1.0 мм у другому горизонтальних напрямках.

При проведенні вимірювань ДВ фіксують із двох сторін. Для цього у верхній частині стержня нарізано зовнішню різьбу М8, а в нижній — внутрішню різьбу М4. Для визначення фазових характеристик поверхневих хвиль ДВ за допомогою планки та кутника збирають у систему з датчиків із заданою відстанню між ними.

Роздільна здатність визначення висоти хвилі пов'язана з діапазоном вимірювання висоти хвилі й розрядністю використаного аналогово-цифрового перетворювача. У реалізованій системі з використанням 12-розрядних АЦП максимальна роздільна здатність по висоті хвилі становить 0.07...0.11 мм. Фактична ж роздільна здатність ДВ залежить від характеру змочування первинних перетворювачів (ПП) й визначається величиною меніска.

Пристрій узгодження (УС) призначений для перетворення зміни електричної ємності між двома дротами ПП в електричний сигнал, забезпечення гальванічної розв'язки між окремими ДВ у багатоканальній вимірювальній системі та зменшення впливу паразитних ємностей з'єднувальних кабелів між ДВ і УППИ. Під'єднання лінії зв'язку від ДВ до УППИ виконується за допомогою відповідного роз'єму.

Прилад перетворення й передачі інформації (УППИ) призначений для перетворення аналогового сигналу з виходів ДВ у цифровий код, передачі цього сигналу по протяжній ЛС на УПВИ, а також генерування керуючої високочастотної напруги, необхідної для роботи ДВ. УППИ складається з амплітудних детекторів (АД1...АД8), масштабуючих підсилювачів (МУ1...МУ8), пристрою керування (УУ), мікроконтролера (МК) пристрою передачі інформації (УПИ), перетворювачів постійної напруги 12 В у постійні напруги  $\pm 5$  В, перетворювачів постійної напруги 5 В у постійну напругу 3 В.

Прилад перетворення й введення інформації (УПВИ) складається з пристрою приймання інформації (УпрИ), мікроконтролера (МК), пристрою введення/виводу інформації (УВИ), двох чотириканальних цифро-аналогових перетворювачів, перетворювачів змінної напруги 220 В 50 Гц у напруги  $\pm 12$  В і перетворювача напруги 12 В у напругу 5 В.

Інформаційний сигнал у вигляді послідовного цифрового коду, організованого відповідно до інтерфейсу RS-485, надходить з виходу УППИ через ЛС на вхід УпрИ. Швидкість передачі інформації може досягати 10 Мбіт/с. Для створеної системи реєстрації поверхневого хвилювання частота вибірки даних кожного з ДВ складає 200 Гц.

За допомогою МК інформація від УпрИ надходить на цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) та УВИ. ЦАП1...ЦАП8 використовуються для отримання вихідної аналогової інформації про поверхневі хвилювання від восьми датчиків хвилювання, яка у вигляді напруги постійного струму амплітудою до 5 В надходить на роз'єм для підключення зовнішнього АЦП.

За допомогою УВИ інформація вводиться в послідовний порт (RS232) або USB-порт персонального комп'ютера. Для підключення до порту USB використовується стандартний конвертор USB 2.0 to RS232. При цьому інформація відображається на дисплеї, зберігається та обробляється за допомогою програми «Волна».

Блок живлення (БП) системи СРПВ конструктивно поєднаний з УПВИ. У ньому виконується перетворення змінного струму напругою 220 В частотою 50 Гц у постій-



Рис. 3. Прилад УППИ



Рис. 4. Прилад УПВИ

ні напруги  $\pm 12$  В. Окрім того, передбачено підключення зовнішніх джерел постійного струму (акумуляторних батарей) з напругами  $\pm 12$  В. Вибір цих величин первинних напруг електричного живлення системи СРПВ пов'язаний, насамперед, із необхідністю виконання вимог технічної безпеки при роботі в умовах підвищеної вологості дослідних басейнів.

### 3. КОНСТРУКТИВНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ СРПВ

Пластмасові корпуси приладів УППИ і УПВИ мають ступінь захисту від потрапляння пилу та вологи IP65, а гермовводи — IP67. На Рис. 3 наведено зовнішній вигляд УППИ з верхньою кришкою й без неї. На передній і задній поверхнях УППИ встановлено вісім роз'ємів типу РС4 для підключення датчиків хвилювання Д0... Д7. На лівій боковій поверхні встановлено роз'єм РС4 для підключення датчика службових відміток Д8, а на правій — роз'єм РС7 для підключення кабельної ЛС.

На Рис. 4 наведено зовнішній вигляд УПВИ. На його передній поверхні встановлені (зліва направо): роз'єм РС32 для підключення до зовнішнього АЦП, світлодіодний ін-



дикатор контролю передачі інформації, тумблер увімкнення живлення від мережі 220 В і гермоввід для електричного кабелю 220 В. На правій боковій поверхні пристрою встановлено роз'єм РС4 підключення живлення від акумуляторів  $\pm 12$  В. На задній поверхні встановлені роз'єм РС7 для підключення ЛС до УППИ і роз'єм РС4 для підключення до персонального комп'ютера.

#### 4. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Керування роботою системи виконується за допомогою програмного забезпечення (ПЗ) «Волна М», головне табло якого наведено на Рис. 5. ПЗ «Волна М» містить дві підпрограми:

- «Сбор данных», яка забезпечує збирання й відображення даних (Рис. 5а).
- «Таблица узловых значений», яка призначена для перерахунку вихідних даних у вигляді значень коду 12-розрядного АЦП (від 0 до 4096) у висоту хвилі в метричній системі зчислення (Рис. 5б).

У початковому стані активується підпрограма «Сбор данных». У верхній частині інтерфейсного табло знаходяться вікна з написами «Порт» (значення СОМ1...СОМ6), «Скорость» (115200), «Длит. измерения, с» (від 0 до 300 с), «Старт». Під ними розташовані кнопки «Открыть файл» і «Сохранить файл». У нижній частині табло знаходяться кнопки «График исходных данных» і «График расчетных данных». Вони призначені для збереження дослідних даних у файлі з обраним ім'ям, відкриття раніше збереженого файлу, а також виведення вихідних або розрахованих даних у вигляді графіка. У центральній частині табло дані відображаються у вигляді графіка, на якому по осі Y відкладені значення висоти хвилі в безрозмірних одиницях в діапазоні від 0 до 4096 (12 розрядів АЦП), а по осі X — час у секундах. На графіку кожен з восьми каналів відображується своїм кольором. Довідка про відповідність кольорів і номерів каналів наведена у вікні, розташованому правіше графіка.

Існує можливість перегляду запису окремих датчиків від Д0 до Д7 або їх комбінацій (Рис. 5в). Для цього у вікнах обраних для перегляду каналів (з 0 по 7) за допомогою миші треба поставити галочку. Для відключення датчика галочку треба зняти. При відображенні результатів досліду графік автоматично масштабується з урахуванням мінімальної й максимальної зафіксованих висот хвиль.

Передбачено можливість більш детального перегляду результатів в бажаних інтервалах часу і висоти хвилі. Для цього при натиснутій лівій кнопці миші слід позначити прямокутником призначену для масштабування частину графіка. Після відпускання кнопки графік відобразить вибрану частину графіка у відповідному масштабі. Для повернення графіка у вихідне становище необхідно виділити за допомогою миші прямокутник навколо початку координат.

Для перерахунку вихідних даних у вигляді значень кода 12-розрядного АЦП (від 0 до 4096) у висоту хвилі в метричній системі зчислення використовуються результати калібрування датчиків. Вони заносяться до таблиці вузлових значень (колонки А — АЦП, В — висота хвилі). Після натискання кнопки «График расчетных данных» графічна інформація відображається на табло в метричній системі зчислення (Рис. 5г).

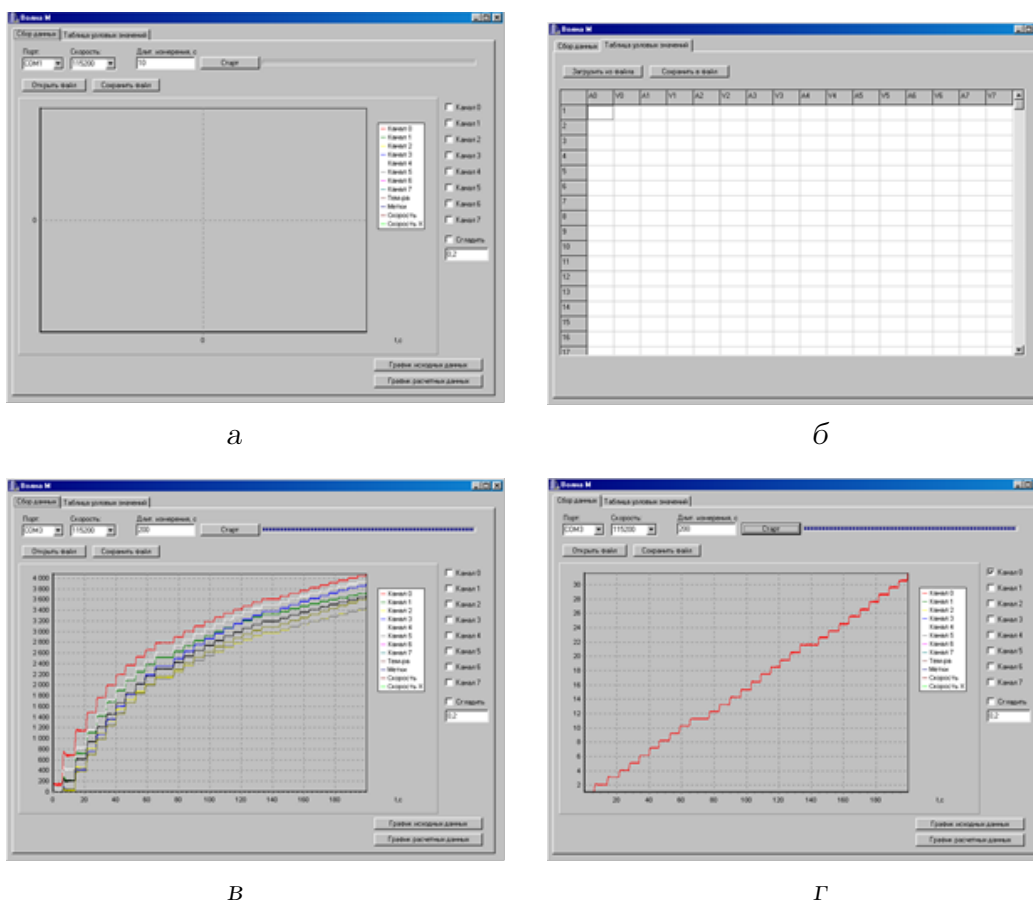


Рис. 5. Загальний вигляд інтерфейсних таблиць програмного забезпечення «Волна М»

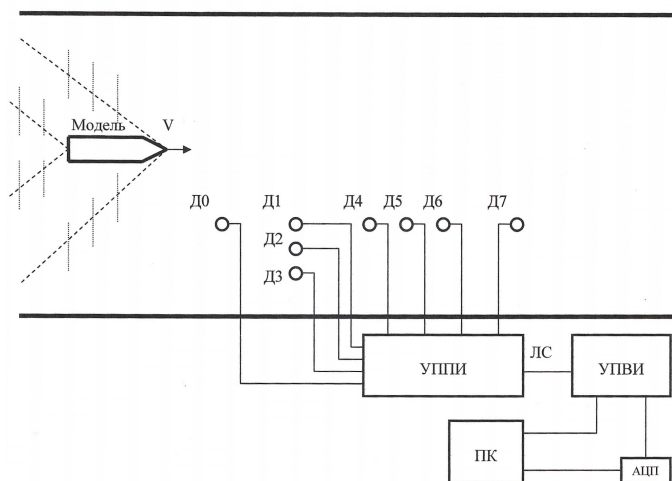
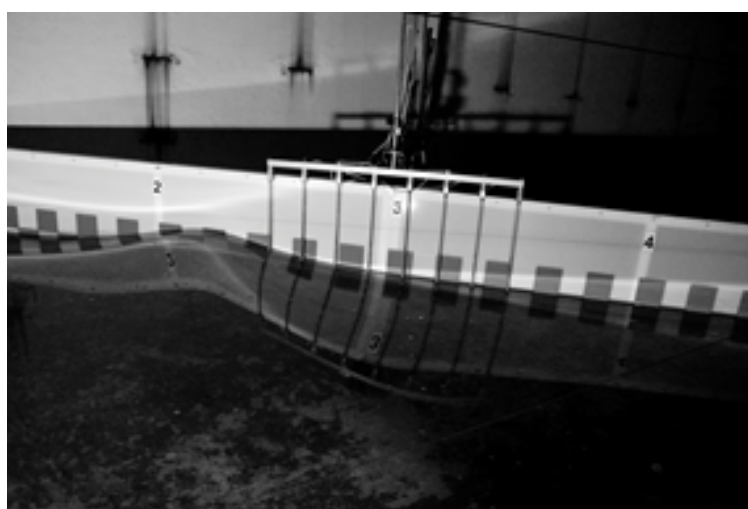


Рис. 6. Розташування датчиків у дослідному басейні





а



б



в

Рис. 7. Датчики та хвиля в басейні (а і б) й обладнання на борту басейна (в)

Вихідні й розрахункові дослідні дані зберігаються у відповідних файлах в табличному вигляді. Тут перша колонка відповідає часовим відлікам з інтервалом 5 мс, наступні вісім колонок — вихідним даним відповідних датчиків, а ще вісім — розрахунковим даним. Така форма подання дозволяє подальшу обробку інформації з використанням обраного програмного забезпечення.

## 5. ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ КОРАБЕЛЬНИХ ХВИЛЬ

Можливу схему розташування датчиків в дослідному басейні показано на Рис. 6. У цьому випадку датчики Д0 і Д7 знаходяться на однаково безпечній відстані від осі проходження моделі й максимально віддалені між собою (до 10...12 м). На цій же відстані від осі розташовані датчики Д1, Д4, Д5 і Д6. За допомогою датчиків Д0 і Д7 середню швидкість руху моделі  $V$  можна визначити, фіксуючи час затримки першого гребня хвилі при обробці хвильових графіків. У системі СРПВ передбачено фіксацію моменту проходження моделлю створу датчика Д0...Д6 з допомогою службової мітки на записі датчика Д7. Для цього оператор натискає на кнопку датчика службових міток Д8 в момент проходження носової частини моделі створу датчика з відповідним номером.

Група датчиків Д1, Д2, Д3 розташовується перпендикулярно осі руху моделі, а датчики Д0, Д1, Д4, Д5, Д6 і Д7 — уздовж цієї осі. Відстань між датчиками обирається, виходячи з двох умов:

- упевненого часового відокремлення сигналів, що реєструються при проходженні хвильових гребенів крізь датчики,
- мінімізації впливу відбиття корабельної хвилі від конструкційних елементів сусідніх датчиків. Датчик Д3 повинен бути розташований достатньо далеко від найближчої стінки басейну з метою затримки в часі моменту реєстрації відбитої від стінки корабельної хвилі.

На Рис. 7 наведені фотографії СРПВ в дослідному басейні, а на Рис. 8 — приклад знімка робочого екрана програми при реєстрації цугу поверхневих хвиль.

## 6. ВИСНОВКИ

Для забезпечення проведення експериментів у дослідних басейнах в Інституті гідромеханіки НАН України розроблено систему реєстрації параметрів поверхневого хвилювання з періодом більше 0.1...0.3 с і висотою 1...400 мм та роздільною здатністю 12 біт. При цьому можна визначати напрям і швидкість поширення хвиль, відображати на екрані комп'ютерного монітора результати у вигляді графіка, зберігати зареєстровані

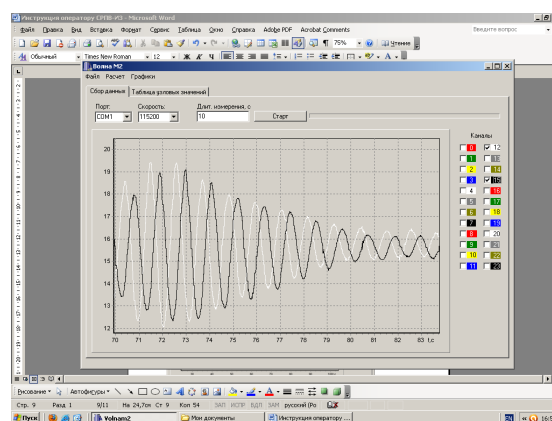


Рис. 8. Результати реєстрації цугу хвиль (приклад)

дані, розраховувати висоту хвиль. Передбачено додатковий вихід аналогового сигналу з амплітудою до 5 В для підключення зовнішнього АЦП з використанням програмного забезпечення типу Power Graph чи Labview.

Датчики хвилювання можуть бути встановлені на віддаленні до 15 м від приладу перетворення і передачі інформації (УППИ), з'єднаного з приладом приймання й уведення інформації (УПВИ) кабельною лінією зв'язку (ЛС), максимальна довжина якої становить 1000 м. Конструктивне виконання УППИ і УПВИ по захисту від потрапляння пилу та вологи відповідає рівню IP65.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Измерения в промышленности / под ред. Профоса П. — Москва : Металлургия, 1990. — Т. 1, 2.
- [2] Иванова Г. М., Кузнецов Н. Д., Чистяков В. С. Теплотехнические измерения и приборы. — Москва : Энергоатомиздат, 1984. — 232 с.
- [3] Жданкин В. К. Приборы для измерения уровня // Современные технологии автоматизации. — 2002. — № 3. — С. 6–19.
- [4] Бриндли К. Измерительные преобразователи: Справочное пособие. — Москва : Энергоатомиздат, 1991. — 144 с.
- [5] Ицкович Э. Л. Современные интеллектуальные датчики общепромышленного назначения, их особенности и достоинства // Датчики и системы. — 2002. — № 2. — С. 42–47.
- [6] Testing and extrapolation methods resistance, uncertainty analysis spreadsheet for wave profile measurements // ITTC – Recommended Procedures and Guidelines / International Towing Tank Conference. — 2002. — No. 7.5-02-02-06. — P. 1–4.
- [7] Справочник по теории корабля / под ред. Войткунского Я. И. — Ленинград : Судостроение, 1985. — Т. 1. — 764 с.

## REFERENCES

- [1] P. Profos, ed., *Handbuch der industriellen Meßtechnik*. München, Wien: R. Oldenbourg Verlag, 1994.
- [2] G. M. Ivanova, N. D. Kuznetsov, and V. S. Chistyakov, *Thermal measurements and instruments*. Moscow: Energoatomizdat, 1984.
- [3] V. K. Zhdankin, “Level measuring instruments,” *Modern Automation Technologies*, no. 3, pp. 6–19, 2002.
- [4] K. Brindley, *Sensors and transducers*. Oxford, UK: Elsevier Science & Technology, 1988.
- [5] E. L. Ickovich, “Modern intelligent sensors for general industrial applications, their specific features and advantages,” *Datčiki i sistemy*, no. 2, pp. 42–47, 2002.

- [6] “Testing and extrapolation methods resistance, uncertainty analysis spreadsheet for wave profile measurements,” in *ITTC – Recommended Procedures and Guidelines*, no. 7.5-02-02-06, pp. 1–4, International Towing Tank Conference, 2002.
- [7] Y. I. Voitkunskii, ed., *Handbook on ship theory*, vol. 1. Leningrad: Sudostroenie, 1985.

**В. Ю. Филимонов, А. А. Кот, Ю. В. Горский, Д. В. Ярош**  
**Система регистрации параметров поверхностных волн**

В статье представлены результаты разработки системы регистрации параметров поверхностных волн, предназначенной для обеспечения экспериментов в опытных бассейнах. Обоснован выбор метода измерения поверхностного волнения. Описан принцип действия и устройство системы. Рассмотрены особенности работы с оригинальным программным обеспечением. Разработанная система позволяет исследовать волны с периодом свыше 0.1...0.3 с и высотой от 1 до 400 мм. Ее разрешение составляет 12 бит. Разработанные датчики волнения относятся к емкостному типу. За счет электронной коммутации каналов предусмотрено одновременное использование до восьми специализированных датчиков. Датчики волнения могут устанавливаться на удалении до 15 м от прибора преобразования и передачи информации, соединенного с прибором приема и ввода информации кабельной линией связи, максимальная длина которой составляет 1000 м. При этом можно определять направление и скорость распространения волн, отображать на экране компьютерного монитора результаты в виде графика, сохранять зарегистрированные данные, рассчитывать высоту волн. Есть возможность программного выбора желаемых каналов для обработки результатов. Предусмотрен дополнительный выход аналогового сигнала с амплитудой до 5 В для подключения внешнего АЦП с использованием программного обеспечения типа Power Graph или Labview. Приведены примеры использования системы при исследованиях корабельных поверхностных волн.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** измерение уровня, датчик волнения, устройство, микроконтроллер, программное обеспечение

**V. Yu. Filimonov, O. O. Kot, Yu. V. Gorsky, D. V. Yarosh**  
**A system for recording of surface wave parameters**

The paper deals with the results of the development of a system for recording the parameters of surface waves designed to support experiments in experimental pools. The choice of the method for measuring surface waves is substantiated. The principle of operation and the structure of the system are described. The features of working with the original software are considered. The developed system makes it possible to study waves with a period of more than 0.1...0.3 s and a height from 1 to 400 mm. Its resolution is 12 bit. The developed wave sensors are of the capacitive type. Due to the electronic switching of channels, the simultaneous use of up to eight specialized sensors is provided. Wave sensors can be installed at a distance of up to 15 m from the device for converting and transmitting information, connected to the device for receiving and inputting information by a cable communication line with a maximum length of 1000 m. At the same time, it is possible to determine the direction and speed of wave propagation, display the results in the form of a graph on a computer monitor screen, save the recorded data, and calculate the height of the waves. The program

selecting of the desired channels for processing the results is possible. Additional analog signal output with an amplitude of up to 5 V is provided for connecting an external ADC using software such as Power Graph or Labview. Examples of the system's use in ship surface waves studies are given.

*KEY WORDS: level measurement, water roughness gauge, device, microcontroller, software*