

УДК 681.3

Віктор МЕЛЬНИК

vamlnk2015@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6981-5046

м. Миколаїв

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОАКУСТИЧНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО КАНАЛУ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Підводні технології вимагають спеціалізованих засобів зв'язку для вирішення широкого класу задач з обміну інформацією з водолазами або людьми в підводних апаратах. Канал гідроакустичного зв'язку, для передачі мовного сигналу, повинен задовольняти певним вимогам. В роботі розглянуто гідроакустичний інформаційний канал, побудований на електрогідравлічних випромінювачах сферичного типу та н'єзокерамічних приймачах. Для оцінки проходження мовного сигналу враховувалася математична модель гідроакустичного каналу зв'язку, яка відображає істотні гідрологічні фактори, що впливають на проходження сигналів випромінювача.

Ключові слова: гідроакустика, електричний розряд, хвильовий процес, акустичне наближення, передавальна функція.

Постановка проблеми

Перші згадки про роботи по цифровому гідроакустичному зв'язку з'явилися на початку 80-х років минулого сторіччя. Найбільшого поширення набули системи зв'язку з амплітудною і фазовою модуляцією, в яких значення цифрового сигналу задавалося різницею між поточним і попереднім сигналом. Докладний аналіз і узагальнення результатів, отриманих в області цифрового гідроакустичного зв'язку протягом трьох десятиліть наведено у роботах [1-2].

До складу апаратури зв'язку в обов'язковому порядку входять випромінювачі, перетворювачі сигналів і приймачі. Один з перетворювачів (випромінювач) збуджується нестационарним електричним сигналом. Другий перетворювач є гідроакустичним приймачем, який реєструє збурення, що виникають в рідині. У прикладній гідроакустиці вказаний набір перетворювачів, які перебувають в рідині, прийнято називати гідроакустичним інформаційним каналом, що дозволяє за допомогою цих перетворювачів передавати через акустичну середу повідомлення від одного з них до іншого.

Випромінюючий тракт станції підводного зв'язку в найзагальніших рисах складається з генератора електричних коливань

звукової частоти, модулятора, підсилювача і акустичної антени. В разі підводної телефонії коливання генератора модулюються голосом людини, яка веде зв'язок. У разі підводної телеграфії проводиться звичайна амплітудна модуляція сигналу телеграфним ключем. Приймаються сигнали або тієї ж антеною, що працює в приймальному режимі, або окремою приймальною антеною. Сигнали детектуються і надходять у головний телефон оператора або динамік.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В умовах доброго поширення звуку в морі, наприклад, при однорідному прогріванні води, сучасні станції підводного зв'язку забезпечують дальність зв'язку між надводним кораблем і підводним човном до 10 км і більше, а між гелікоптером і підводним човном - до 5-6 км. На IV Міжнародному конгресі з акустики (1962 р) американські вчені Д. Стюард і В. Аллен доповіли про здійснення підводного зв'язку на відстані 100 км.

Постановка завдання

У даній роботі ставиться задача побудови математичної моделі гідроакустичного каналу зв'язку на сферичних перетворювачах. Причому для випромінювача викорис-

товується електрогідроімпульсний випромінювач, що працює на основі електричного розряду в сферичній порожнині, заповненою водою. Це дозволяє отримати потужний і короткий за часом імпульс випромінювання, який добре виділяється приймачем, як одиниця в цифровому зв'язку.

Виклад основного матеріалу

Математична модель гідроакустичного каналу зв'язку повинна відображати істотні гідрологічні фактори, що впливають на проходження сигналів випромінювача. При моделюванні водного середовища як «чорного ящика» визначаються амплітудно-частотна і фазова характеристики між важливими точками входу і виходу акустичного сигналу. Теоретично нескінченне

число точок входу і виходу призводить до необхідності розробки моделей на основі кінцевого числа вимірів. Відомі вимірювання частотних характеристик гідроакустичних каналів, які отримані з вільно дрейфуючих суден із застосуванням вибухових або імпульсних джерел звуку [3].

Підводний вибух можна наближено розглядати як акустичний дельта-імпульс, а сигнал, що приходить в гідрофон, як функцію відгуку гідроакустичного каналу. Тоді фур'є-перетворення сигналу гідрофону характеризує частотну характеристику гідроакустичного каналу. Типова структурна схема тракту передачі мовної інформації цифрою апаратурою підводного зв'язку наведена на рис. 1.

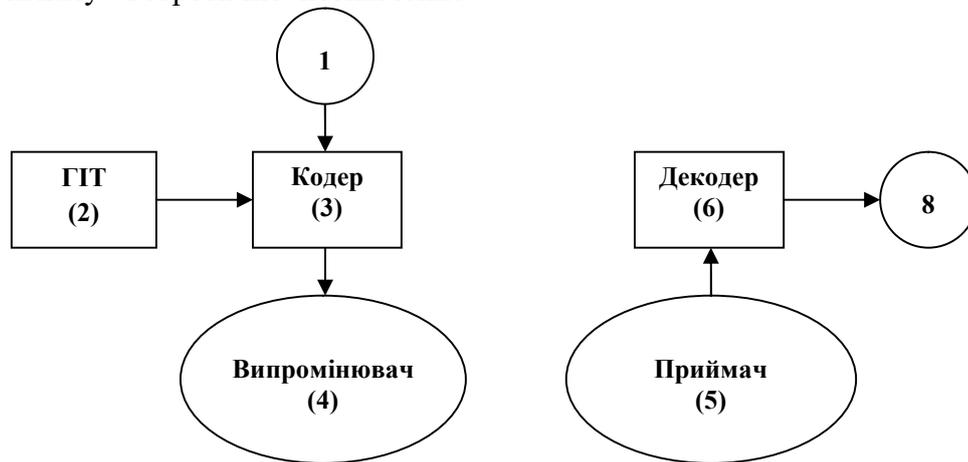


Рис. 1. Структурна схема тракту передачі мовної інформації:
1, 8 – мікрофон і динамік; 2 – блок компресії, що встановлює тривалість і частоту проходження дискретних сигналів (на базі ГП); 3 – блок оцифрування інформації; 4, 5 – випромінювач і приймач, відповідно; 6 – блок, який переводить дискретний сигнал в аналоговий.

У даній роботі в якості перетворювачів гідроакустичного каналу обрані перетворювачі сферичної форми. Слід зазначити, що моделювання гідроакустичного інформаційного каналу, побудованого на п'єзоелектричних перетворювачах циліндричної форми, виконано в роботі [4]. Аналогічне завдання для сферичних п'єзоелектричних перетворювачів раніше не розглядалася.

Передбачається, що в безмежному просторі рідини на досить великій відстані один від одного розміщені два пустотілих

сферичних перетворювача (випромінювач і приймач), на такій відстані, що акустичним взаємним впливом між ними можна знехтувати. Крім цього, вважається, що кривизна фронту акустичної хвилі, яка набігає на приймач, настільки мала, що хвилю можна вважати плоскою. Перетворювачі поляризовані в радіальному напрямку, металеві електроди суцільні і повністю покривають їх зовнішню і внутрішню поверхні. На електроди випромінювача подається електричний нестационарний сигнал.

Постановка і вирішення завдання виконані в сферичній системі координат, причому, для приймача сферична система координат вибирається таким чином, що фронт падаючої хвилі перпендикулярний горизонтальній осі приймача. В цьому випадку динамічний процес в оболонці і навколишньому середовищу можна вважати двовимірним. У свою чергу, з огляду на центральносиметричне електричне збудження випромінювача, він буде здійснювати виключно пульсуючі одновимірні коливання.

Дослідження проходження сигналу по каналу зв'язку здійснюється за допомогою передавальної функції, що представляє собою оператор, перетворюючий вхідний вплив лінійної системи в вихідну реакцію. Передавальна функція гідроакустичного каналу залежить від просторових координат, частоти і часу.

Сенс акустичної передавальної функції полягає в наступному: якщо тональний сигнал з амплітудою S_1 випромінюється в точці, координати якої визначаються радіус-вектором, то сигнал, прийнятий в момент часу t в точці, яка визначається радіусом-вектором, матиме вигляд

$$S_2 = S_1 \cdot K(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \omega, t) \cdot e^{i\omega t}$$

Відповідно до класичної гідродинамічної теорії при поширенні акустичних хвиль у водному середовищі спостерігається поглинання звуку за рахунок дисипації енергії у в'язкій рідині. Фізична сутність поглинання пов'язана з виникненням механічної напруги при деформаціях зсуву шарів рідини і незворотнім перенесенням імпульсу між ними.

Виконана постановка дозволяє вирішити вказану задачу в два етапи. На першому етапі (випромінювання) визначається нестационарний тиск у рідині. Ця задача розв'язувалася в роботі автора [5]. Далі ці значення напору враховуються при вирішенні задач на другому етапі (прийом). Розв'язок рівнянь гідроакустики і розрахунок динамічних характеристик системи здійснюється чисельними методами з залученням квадратурних формул. Більш докладно про цей підхід до вирішення неста-

ціонарних задач гідроелектроупругості сферичних оболонок викладено в роботі [6].

Розрахунки показали, що послідовність прямокутних електричних імпульсів викликає у рідині таку ж послідовність акустичних хвиль напруги (стискання і розрядження). Осцилограма збуджуючого електричного сигналу не співпадає з осцилограмами акустичних імпульсів. У свою чергу слід зазначити, що коли радіуси сфер відповідають співвідношенням $R_2 = R_1$ і $R_2 = 0,2R_1$, то осцилограми акустичних та електричних імпульсів на випромінювачі і приймачі досить близькі. У випадку, коли $R_1 = 5R_2$ інерційність приймача демпфірує ці скачки напруги на осцилограмі знімального електричного сигналу.

На рис. 2 представлена послідовність прямокутних імпульсів, що надходять з ГПТ на вхід випромінювача, а на рис. 3 представлена послідовність прийнятих імпульсів. На графіках чітко простежується тимчасова відповідність між випромінюваними та прийнятими імпульсами.

Розрахуємо час передавання інформації. Це дозволить розрахувати частоту подачі імпульсів на вхід і пропускну здатність каналу.

Час передачі складається з часу введення імпульсу енергії T_e , часу перетворення його в акустичну хвилю та часу досягнення її оболонки випромінювача T_b .

Далі акустичні хвилі розповсюджуються зі швидкістю 1450 м/сек. Наступний імпульс може подаватися на вхід через

$$T = T_e + T_b$$

Швидкість передачі даних в бітах у секунду (біт / с) визначається за формулою $R = (1/T) \log_2 K$ (біт/с), де K визначають довжину символу двійкового алфавіту в бітах, а T – це тривалість K -бітового символу.

Якщо ГПТ працює з частотою 4 Гц, то час формування імпульсу буде рівним $T_e = 1/4 = 0,25$ сек. Время формування імпульсу випромінювання в сферичній оболонці дорівнює в середньому 50 мкс. Таким чином, швидкість передачі десятих цифр оцінюється в 8 кбіт/сек.

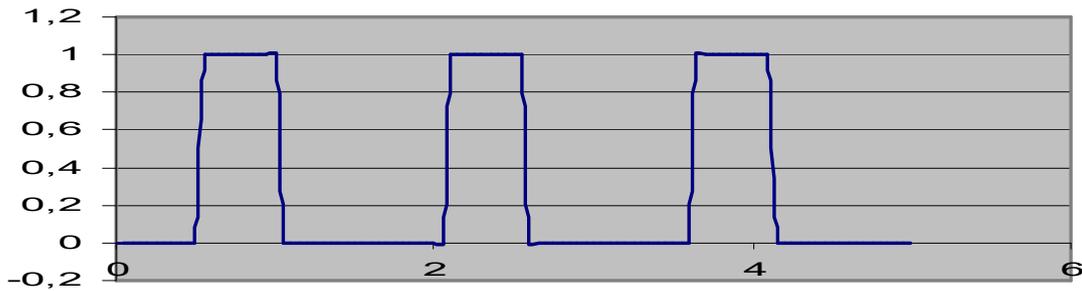


Рис. 2. Послідовність імпульсів, що подаються на вхід випромінювача

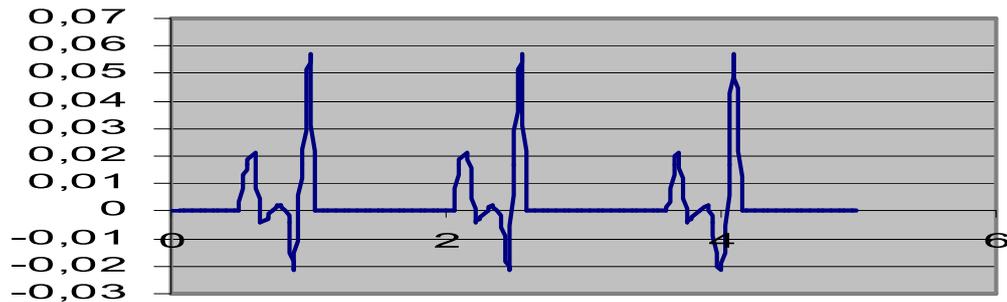


Рис. 3. Прийнята послідовність імпульсів

Висновки і перспективи досліджень

При проведенні експериментальних досліджень були проаналізовані деякі досить прості алгоритми обробки даних, що

дозволило забезпечити роботу зв'язку з швидкістю до 9,6 Кбіт / с з вірогідністю помилок приблизно 10% в умовах як мало-го, так і глибокого моря. Тому теоретична оцінка досить точно відповідає експериментальним даним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кебкал, К.Г. Анализ путей развития средств цифровой гидроакустической связи. Монография [Текст] / К.Г. Кебкал, В.С. Дидковский. – Севастополь, 2010. – 168 с.
2. Богданов, Е.В. Выбор сигналов и метода их обработки для гидроакустической подводной связи в мелком море [Текст] / Е.В. Богданов, Т.Х. Выюнг, В.С. Давыдов // Изв. Вузов России. Радиоэлектроника. – 2004, вып. 1. – С. 26-34.
3. Тарасюк, Ю. Ф. Передача информации под водой. [Текст] / Ю.Ф. Тарасюк. – М.: Знание, 1974. – 84 с.
4. Савин, В.Г. Излучение акустических импульсов цилиндрическим пьезовибратором [Текст] / В.Г. Савин // Акуст. журн. – 1991. – Т. 37, № 6. – С. 1194-1198.
5. Мельник, В.А. Розповсюдження акустичних хвиль при електричному розряді в областях з вісевою симетрією [Текст] / В.А. Мельник // Геометричне моделювання та інформаційні технології: науковий журнал. – Миколаїв: МНУ, 2017. – №2 (4). – С. 68-73.
6. Богданов, Е.В. Схемы кодирования и правила декодирования информации, передаваемой по гидроакустическому каналу связи в мелководных районах океана. [Текст] / Е.В. Богданов, Т.Х. Выюнг, Т.Т. Нгуен, В.С. Давыдов. // Изв. Вузов России. Радиоэлектроника. – 2004. – №3. – С. 27-33.

Victor MELNIK
Mykolayiv

**MATHEMATICAL MODELING OF THE HYDRAACOUS INFORMATION
DIGITAL COMMUNICATION CHANNEL**

Underwater technologies require specialized communication tools to solve a wide range of tasks for the exchange of linguistic data with divers or people in underwater vehicles. A hydroacoustic communication channel for transmitting a speech signal must meet certain requirements. The paper deals with the hydroacoustic information channel constructed on electro-hydraulic spherical type and piezoceramic receivers. To assess the passage of a speech signal, a mathematical model of the hydroacoustic communication channel was considered, reflecting the significant hydrological factors that influence the passage of the signals of the radiator.

Keywords: hydroacoustics, electric discharge, wave process, acoustic approximation, transfer function.

Виктор МЕЛЬНИК
Николаев

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО
ИНФОРМАЦИОННОГО КАНАЛА ДЛЯ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ**

Подводные технологии требуют специализированных средств связи для решения широкого класса задач по обмену языковыми данными с водолазами или людьми в подводных аппаратах. Канал гидроакустического связи для передачи речевого сигнала должен удовлетворять определенным требованиям. В работе рассмотрены гидроакустический информационный канал, построенный на электрогидравлических излучателях сферического типа и пьезокерамических приемниках. Для оценки прохождения речевого сигнала учитывалась математическая модель гидроакустического канала связи, отражающая существенные гидрологические факторы, влияющие на прохождение сигналов излучателя.

Ключевые слова: гидроакустика, электрический разряд, волновой процесс, акустическое приближения, передаточная функция.

Стаття надійшла до редколегії 28.03.2018