

**Сандлер А. К.,**доцент,  
Національний університет «Одеська морська академія»,  
м. Одеса, Україна  
sa@onma.edu.ua**Цюпко Ю. М.,**канд. техн. наук, професор,  
Національний університет «Одеська морська академія»,  
м. Одеса, Україна,  
tym11@ukr.net

## СУДНОВИЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ГІДРОФОН

*Для побудови системи навігаційної безпеки руху надводних та підводних суден та апаратів необхідно здійснювати достовірний контроль гідроакустичних полів. Існуючі засоби контролю не у повній мірі за своїми метрологічними та технічними характеристиками відповідають задачам гідроакустичного контролю у цивільному судноплаванні. Можливості існуючих відомих пристроїв мають обмеження по глибині використання або по компенсації впливу температурних та гідростатичних неконтрольованих експлуатаційних факторів. Запропоновано нове схемотехнічне рішення волоконно-оптичного гідрофону.*

*У розробленому гідрофоні реалізована інваріантність до впливу дестабілізуючих неконтрольованих факторів на вимірювальний канал гідрофону. Одночасно забезпечена можливість залучення приладу до складі гідрофонів антенного типу, які використовуються для контролю акустичного поля на глибинах до 300 метрів. Використання гідрофону дозволить адекватно і достовірно оцінювати кількісні показники гідроакустичних полів водного середовища.*

**Ключові слова:** гідроакустичне поле; гідрофон; волоконний світловід; пульсації тиску швидкісного напору; пульсації акустичного поля; флуктуації температурного поля.

Останнім часом все більш широке поширення набувають гідроакустичні системи, побудовані на основі волоконно-оптичних датчиків. Ця тенденція обумовлена низкою переваг волоконно-оптичних датчиків над традиційними – вони мають високу чутливість, стійкі до електромагнітних завад, електрично пасивні, мають малу вагу і габарити, легко мультиплексуються і мають низьку вартість виготовлення чутливих елементів [1].

У той же час, застосування існуючих волоконно-оптичних пристроїв виявило їх неповну відповідність сучасним задачам контролю гідроакустичних полів водного середовища [1, 2, 3]. Для пошуку шляхів поліпшення метрологічних характеристик пристроїв гідроакустичного контролю проаналізовані конструкції найпоширеніших типів гідрофонів [3, 4, 5].

Відомий волоконно-оптичний гідрофон, що містить напівпрозорі дзеркала, предметну і опорну волоконні котушки, оптично узгоджені з джерелом когерентного світла і фотоприймачем, причому предметна волоконна котушка інтерферометра намотана з натягом на бічну поверхню циліндричного біметалевого корпусу, а опорна розташована поруч з бічною поверхнею корпусу (рис.1) [4]. Недоліки пристрою, які обумовлені використанням двох оптичних котушок та циліндричного біметалевого корпусу:

– необхідність постійного корегування метрологічних характеристик гідрофону через вплив пульсацій швидкісного напору потоку на предметну котушку;

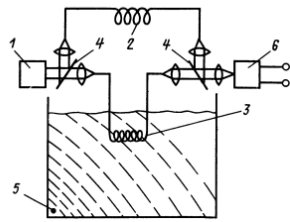
– непридатність застосування приладу у складі гідрофонів антенного типу, які використовуються для контролю акустичного поля на глибинах до 300 метрів, тому що відсутня можливість врахування та компенсації впливу температурних та гідростатичних неконтрольованих експлуатаційних факторів;

– необхідність обробки поверхні біметалевого циліндру з прецизійною точністю та якістю для уникнення створення умов для появи паразитної модуляції інформаційного сигналу.

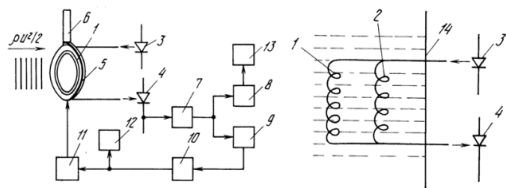
У меншій мірі експлуатаційні та конструктивні фактори впливають на характеристики волоконно-оптичного гідрофону який містить предметну і опорну волоконні котушки, джерело когерентного світла, фотоприймач, оптичний розгалужувач, підсилювач, фільтр високих частот, реєстратор, фільтр низьких частот, блок зворотного зв'язку, джерело струму (рис. 2) [5].

Предметна волоконна котушка інтерферометра намотана з натягом на бічну поверхню циліндричного корпусу, виконаного біметалевим і встановленого на

тримачі. Опорна волоконна котушка встановлена поруч з предметної, але не закріплена на корпусі.



**Рис. 1.** Волоконно-оптичний гідрофон: 1 – джерело когерентного світла; 2 – опорна волоконна котушка; 3 – предметна волоконна котушка з циліндричним біметалевим корпусом; 4 – напівпрозорі дзеркала; 5 – джерело звукових коливань; 6 – фотоприймач



**Рис. 2.** Волоконно-оптичний гідрофон: 1 – предметна котушка; 2 – опорна котушка; 3 – джерело когерентного світла; 4 – фотоприймач; 5 – корпус; 6 – тримач; 7 – підсилювач; 8 – фільтр високих частот; 9 – фільтр низьких частот; 10 – блок зворотного зв'язку; 11 – джерело струму; 12, 13 – реєстратори.

Недоліки пристрою, які обумовлені використанням двох оптичних котушок, циліндричного біметалевого корпусу та контролю тільки одного діапазону низьких частот інформаційного сигналу:

- непридатність застосування приладу у складі гідрофонів антенного типу, які використовуються для контролю акустичного поля на глибинах до 300 метрів, тому що відсутня можливість врахування та компенсації впливу температурного неконтрольованого експлуатаційного фактору, який носить низькочастотний характер;

- необхідність обробки поверхні біметалевого циліндру з прецизійною точністю та якістю для уникнення створення умов для появи паразитної модуляції інформаційного сигналу;

- необхідність врахування та компенсації нелінійних деформацій біметалевого циліндру під впливом електричного струму на температури неконтрольованої величини.

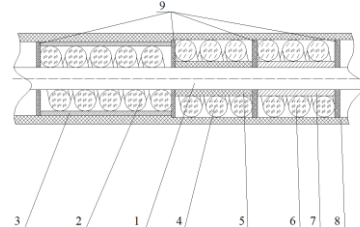
В умовах, що склалися, доцільною стала розробка нового схематехнічного рішення волоконно-оптичного інваріантного гідрофону. Передбачалося, що конструктивне виконання на основі волоконно-оптичних елементів повинне забезпечити вимірювальному пристрою:

- відсутність необхідності корекційних дій з підтримки геометрії всіх елементів пристрою;
- можливість контролю та врахування температурного неконтрольованого експлуатаційного фактору;
- збереженість високого рівню чутливості та

швидкодія пристроїв відомих типів.

Для розв'язування поставленої задачі запропонована схема волоконно-оптичного інваріантного гідрофону.

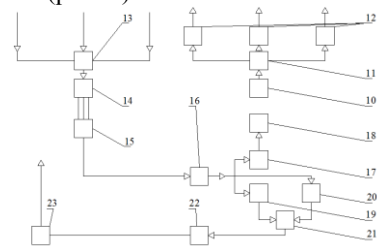
Суть запропонованого схематехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 3), де зображено металевий трос з оптичним світловодом (на кресленні не показаний) 1, на якому розташовані опорна волоконна котушка предметна 4, опорна 6 та для фіксації температурного впливу 2.



**Рис. 3.** Чутливий елемент волоконно-оптичного інваріантного гідрофону: 1 – металевий трос з оптичним світловодом (на кресленні не показаний); 2 – волоконна котушка для фіксації температурного впливу; 3 – біметалевий циліндр; 4 – предметна волоконна котушка; 5 – циліндр зі сплаву  $Fe - Ni$ ; 6 – опорна волоконна котушка; 7 – циліндр з термоізоляційного матеріалу; 8 – зовнішня оболонка; 9 – термоізоляційні шайби.

Котушка 2 внутрішнім боком розташована на поверхні тросу, а з зовнішнього стиснута біметалевим циліндром. Котушка 6, відокремлена від тросу циліндром з термоізоляційного матеріалу 7. Котушка 4 створена на поверхні циліндру зі сплаву  $Fe - Ni$  (42 %  $Ni$ ), який закріплений на тросі. Котушки відокремлені одна від другої термоізоляційним шайбами 9. Весь чутливий елемент вкритий зовнішньою оболонкою 8.

При включенні гідрофона світло від блоку джерела оптичного випромінювання 10, крізь оптичний розгалужувач 11 та вихідні оптичні фільтри 12 розподіляється й надходить до усіх котушок з різними довжинами хвиль (рис. 4).



**Рис. 4.** Схема система обробки сигналу та корегування волоконно-оптичного інваріантного гідрофону: 10 – блок джерела оптичного випромінювання; 11 – оптичний розгалужувач; 12 – вихідні оптичні фільтри; 13 – оптичний розгалужувач; 14 – оптичні входні фільтри; 15 – фотоприймальний блок; 16 – підсилювач; 17 – фільтр високих частот; 18 – реєстратор; 19, 20 – фільтр низьких частот; 21 – суматор; 22 – блок зворотного зв'язку; 23 – джерело струму.

Після перетворення у котушках під впливом акустичного та температурного полів, випромінювання крізь оптичний розгалужувач 13 вхідні оптичні фільтри 14 надходить до фотоприймального блоку 15. Випромінювання від кожної котушки надходить зі своєю довжиною хвилі. Отриманий електричний сигнал під-

силується у підсилювачі 16 та надходить до фільтрів. У фільтрі високих частот 17 виділяється частка сигналу що відповідає акустичній компоненті і фіксується реєстратором 18. Одночасно сигнал надходить до фільтру низьких частот 19, де отримується сигнал пропорційний пульсаціям гідрофізичній природи. У фільтрі низьких частот 20 отримується сигнал пропорційний температурному впливу. У суматорі 21 обидва низькочастотні сигнали складаються на надходять до блоку зворотного зв'язку 22 й джерела струму 23. Струм від джерела струму надходить до циліндру зі сплаву  $Fe - Ni$  5. При проходженні струму змінюються лінійні розміри циліндру та розташованої на ньому предметної котушки. Таким чином відбувається корегування інформаційного сигналу з врахуванням та компенсацією впливу дестабілізуючих неконтрольованих факторів [6, 7, 8, 9].

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію циліндрів біметалевих, зі сплаву  $Fe - Ni$  та волоконно-оптичних елементів.

У статичному режимі розташовують підводну частину гідрофону у заданому діапазоні глибин. При цьому в потоці рідини на предметну волоконну котушку будуть додатково впливати три види факторів: пульсації тиску швидкісного напору, пульсації акустичного поля та флуктуації температурного поля.

Налаштовують початкову різницю фаз інтерферуючих променів за допомогою джерела струму що дорівнює  $90^\circ$  (для швидкості потоку або заданої швидкості буксирування). Необхідна зміна зсуву фаз відбувається через те, що при подачі струму на циліндр зі сплаву  $Fe - Ni$  останній змінює свої лінійні розміри. Заміна біметалевого циліндру на циліндр зі сплаву обумовлена майже лінійною залежністю зміни лінійних розмірів останнього від величини електроструму, що проходить крізь циліндр. Це призводить до додаткового натягу волокна в предметної волоконної котушці і зміни оптичного шляху для одного з інтерферуючих променів. Біметалевий циліндр, з причини невеликого градієнту температурної флуктуації, використовується в парі з волоконна котушка для фіксації температурного впливу.

Після попереднього налаштування гідрофону, пульсації гідрофізичної природи та температурного

поля (низькочастотного характеру) та пульсації акустичної природи (високочастотного характеру) виділяються за допомогою фільтрів високих і низьких частот.

Блок зворотного зв'язку відпрацьовує відповідну керуючий сигнал (за рівнем пульсацій низькочастотного характеру, що подається на суматор та керуючий вхід джерела струму, який в свою чергу направляє на циліндр зі сплаву  $Fe - Ni$  струм. При цьому відбувається додатковий натяг або ослаблення волокна предметної волоконної котушки до тих пір, поки робоча точка на робочій кривій інтерферометра поки вернулася на своє колишнє місце.

Пульсації акустичного поля також виділяються на виході фотоприймального блоку у вигляді високочастотних пульсацій імпульсів струму. Після посилення в підсилювачі ці пульсації селектується фільтром високих частот і фіксуються реєстратором. Таким чином, відбувається інваріантний, по відношенню до неконтрольованих експлуатаційних факторів, контроль акустичної складової сигналу.

Запропоноване схемотехнічне рішення відрізняється тим, що чутливий елемент гідрофону змонтовано на несучому металевому тросі з волоконним світловодом, застосовані волоконна котушка для фіксації температурного впливу, який передається через біметалевий циліндр, оптичні вхідні та вихідні фільтри, додатковий фільтр низьких частот та суматор, для управління предметною котушкою застосовано циліндр зі сплаву  $Fe - Ni$ , котушки одна від одної відокремлені термоізоляційним шайбами.

Таким чином, у розробленому гідрофоні комбінація оптичних елементів забезпечує:

більш адекватне перетворення параметрів акустичного поля у зміни інформаційного сигналу;

врахування й компенсацію впливу дестабілізуючих неконтрольованих факторів на вимірювальний канал гідрофону;

придатність застосування приладу у складі гідрофонів антенного типу, які використовуються для контролю акустичного поля на глибинах до 300 метрів.

Використання пристрою [10], що пропонується, дозволить адекватно і достовірно оцінювати кількісні показники гідроакустичних полів водного середовища.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Плотников М. Ю. Волоконно-оптический гидрофон : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.11.01 / М. Ю. Плотников. – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. – СПб., 2014. – 16 с.
2. Интеллектуализация гибкой протяженной буксируемой гидроакустической антенны / М. Я. Андреев и др. // Датчики и системы. – 2007. – № 10. – С. 30–33.
3. Волоконно-оптические гидрофоны с малыми оптическими потерями / М. И. Беловолов и др. // Фотон-Экспресс. – 2011. – № 6(94). – С. 228–229.
4. Пат. Канады 1124384, кл. 349 57 (G01V1/38), 1982.
5. Пат. 2105961 Российская Федерация, G01L11/02. Волоконно-оптический гидрофон с компенсацией гидрофизических помех / Ю. Н. Власов; В. К. Маслов; С. В. Сильвестров; А. Д. Толстоухов; заявитель и патентообладатель Государственное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений». – № 96101621/28; заявл. 29.01.1996; опубл. 27.02.1998.
6. Болтачев Г. Ш., Волков Н. Б., Паранин С. Н., Спирин А. В. Динамика цилиндрических проводящих оболочек в продольном импульсном магнитном поле / Г. Ш. Болтачев, Н. Б. Волков и др. // Журнал технической физики. – 2010. – № 6. – Том 80. – С. 1–9.

7. Гуляев Ю. В., Меш МЯ., Проклов ВВ. Модуляционные эффекты в волоконных световодах и их применение. – М. : Радио и связь, 1991. – 150 с.
8. Снайдер А., Лав Д. Теория оптических волноводов. – М. : Радио и связь, 1987. – 656 с.
9. Удд, Э. Волоконно-оптические датчики. – М. : Техносфера, 2008. – 520 с.
10. Декларацийний патент України № 109930. Волоконно-оптичний інваріантний гідрофон. МПК (2016.01), G01L 11/02 (2006.01), H04R 1/44 (2006.01), G01M 11/00, G02B 6/00. Заявники та власники: Сандлер А. К., Цюпко Ю. М. – заявл. 04.07.2016. // Опубл. 12.09.2016, бюл. № 17/2016.

**А. К. Сандлер,  
Ю. М. Цюпко,**  
Национальный университет  
«Одесская морская академия»,  
г. Одесса, Украина

## **СУДОВОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ГИДРОФОН**

*Для построения системы навигационной безопасности движения надводных и подводных судов и аппаратов необходимо осуществлять достоверный контроль гидроакустических полей. Существующие средства контроля не в полной мере по своим метрологическим и техническим характеристикам соответствуют задачам гидроакустического контроля в гражданском судоходстве. Возможности существующих известных устройств имеют ограничения по глубине использования или по компенсации влияния температурных и гидростатических неконтролируемых эксплуатационных факторов. Предложено новое схемотехническое решение волоконно-оптического гидрофона.*

*В разработанном гидрофоне реализована инвариантность к воздействию дестабилизирующих неконтролируемых факторов на измерительный канал гидрофона. Одновременно обеспечена возможность включения прибора в состав гидрофонов антенного типа, которые используются для контроля акустического поля на глубинах до 300 метров. Использование гидрофона позволит адекватно и достоверно оценивать количественные показатели гидроакустических полей водной среды.*

**Ключевые слова:** гидроакустическое поле; гидрофон; волоконный световод; пульсации давления скоростного напора; пульсации акустического поля; флуктуации температурного поля.

**A. K. Sandler,  
Y. M. Tsupko,**  
National University  
«Odessa Maritime Academy»,  
Odessa, Ukraine

## **SHIPBOARD FIBER OPTIC HYDROPHONE**

*To build traffic safety navigation systems and submarine vessels and apparatus necessary to implement reliable control of hydroacoustic fields. Existing controls are not fully in its metrological and technical characteristics adequate for hydroacoustic monitoring in civil navigation. Possibilities existing known devices are limited by the depth of the use of or compensate for the effect of temperature and hydrostatic uncontrolled operational factors. Proposed new circuit solution fiber optic hydrophone.*

*In the developed hydrophone implemented invariant to destabilizing uncontrollable factors on measuring channel hydrophone. Simultaneously capable of operation of the antenna device type hydrophones are used to control the acoustic field at depths down to 300 meters. Using hydrophones allow adequately and fairly assess the quantitative hydroacoustic fields aquatic environment.*

**Key words:** hydroacoustic field; hydrophone; optical fiber; the pulse-tion velocity head pressure pulsation of the acoustic field fluctuations pace-temperature-field.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. *М. П. Мусієнко*;  
к. т. н., доц. *І. М. Журавська*.

© Сандлер А. К., Цюпко Ю. М., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 17.05.16*