

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК ОБЕРТІВ РОТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ

Останнім часом все більш широке поширення набувають інформаційно-вимірювальні системи, побудовані на основі волоконно-оптичних датчиків. Ця тенденція обумовлена низкою переваг волоконно-оптичних датчиків над традиційними - вони мають високу чутливість, стійкі до електромагнітних перешкод, 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 недостатню стійкість до впливу неконтрольованих дестабілізуючих факторів, що генеруються компактно розташованими об'єктами суднової енергетичної установки [1, 2, 3].

Для пошуку шляхів поліпшення метрологічних характеристик пристроїв контролю роторного обладнання проаналізовані конструкції найпоширеніших типів датчиків обертів [3, 4, 5].

Відомий датчик контролю обертального руху, який складається з корпусу, з ввареним в нього вікном, волоконно-оптичних світловодів, джерела та приймача оптичного випромінювання та світловідбиваючої мітки на контрольованому роторі (рис. 1) [3, 4].

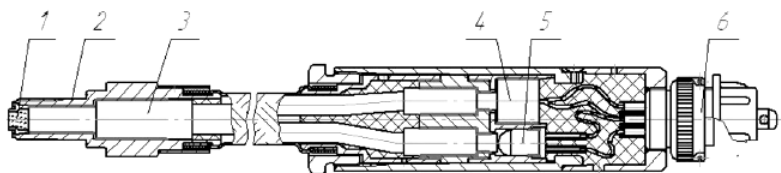


Рис. 1. Датчик контролю обертального руху: 1 – вікно; 2 – корпус; 3 – волоконно-оптичні світловоди; 4 – фотоприймач; 5 – джерело випромінювання; 6 – з'єднувач

Недоліки пристрою, які обумовлені використанням наявності відкритого оптичного каналу випромінюючий світловод - мітка - приймаючий світловод:

необхідність постійного корегування геометрії відкритого оптичного каналу в умовах впливу негативних неконтрольованих експлуатаційних факторів;

необхідність компенсації впливу кліматологічних та експлуатаційних факторів (забруднення повітря, мітки та поверхні вікна у відкритому оптичному каналі);

необхідність компенсації випадкових засвітлення приймального світловода для уникнення створення умов для появи паразитної модуляції інформаційного сигналу.

У меншій мірі експлуатаційні та конструктивні фактори впливають на характеристики волоконно-оптичного датчику обертів, який складається з основи, джерела лазерного випромінювання, фотоприймача, оптичних світловодів, що утворюють котушку навколо ротора та підводять-відводять випромінювання,  $\lambda/4$  пластини, поляроїда, призми Волластона та джерела струму, що подається на контрольований ротор (рис. 2) [5].

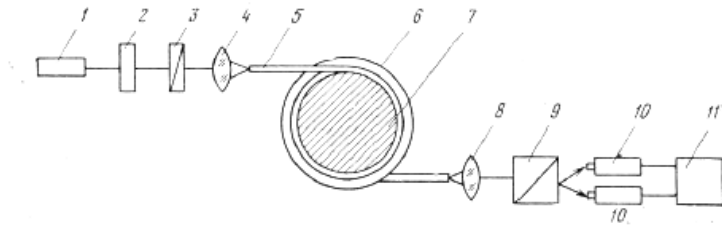


Рис. 1. Датчик контролю обертального руху: 1 – джерела лазерного випромінювання; 2 –  $\lambda/4$  пластини; 3 – поляроїд; 4, 8 – об'єктиви; 5 – оптичний світловод; 6 – котушка; 7 – ротор; 9 – призма Волластона; 10 – фотоприймач; 11 – блок обробки інформації

Недоліки пристрою, які обумовлені використанням волоконної котушки,  $\lambda/4$  пластини, поляроїда та призми Волластона:

необхідність постійної корекції деградації властивостей оптичних елементів, які використовуються в умовах концентрованого впливу негативних неконтрольованих експлуатаційних факторів;

необхідність забезпечення додаткового захисту оптичних елементів від впливу негативних неконтрольованих експлуатаційних факторів та підшипникових вузлів від впливу електричного струму [6];

застосування додаткових оптичних елементів для перетворення інформаційного сигналу.

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

застосування деталей, виконаних з матеріалів з близькими фізико-механічними характеристиками;

відсутність необхідності корекційних дій з підтримки геометрії оптичного каналу та елементів датчика;

відсутність механічного впливу на світловодні елементи;

збереження високого рівня чутливості та швидкодія пристроїв відомих типів.

Для розв'язування поставленої задачі запропонована схема волоконно-оптичного датчику обертів.

Суть запропонованого схемотехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 3), де зображено сегмент зі сплаву з магнітострикційними властивостями (Fe – Ni, 42 % Ni) 2 з обох боків до якого приварені сегменти зі сплаву платиніт (Fe – Ni, 48 % Ni) 1. До сегментів 1 плазменою зваркою закріплені первинний 3 та вторинний 4 оптичні світловоди.

Первинний світловод з одного кінця має віддзеркалюючий шар з сапфірового скла 8. З іншого кінця первинний світловод зварено з оптичним волокном 5 для підводу/відводу випромінювання, що надходить у прямому та зворотному напрямку крізь мультиплексор/демультиплексор 6.

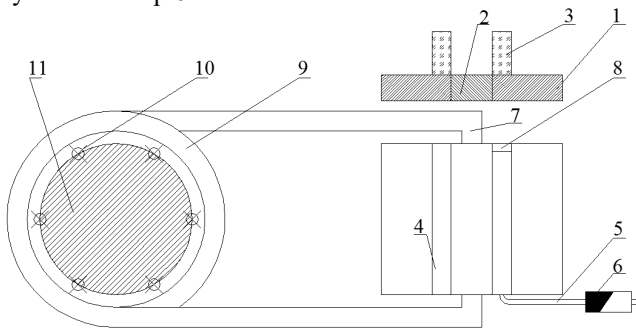


Рис. 3. Волоконно-оптичний датчик обертів роторного обладнання: 1 – сегмент з платиніту; 2 – сегмент зі сплаву Fe - Ni; 3 – первинний оптичний світловод; 4 – вторинний оптичний світловод; 5 – оптичне волокно для підводу/відводу випромінювання; 6 – мультиплексор/демультиплексор; 7 – циліндричний сегмент для сполучення з струмопроводом; 8 – віддзеркалюючий шар з сапфірового скла; 9 – котушка з двосегментною рамкою; 10 – неодимовий магніт; 11 – ротор

Для сполучення з котушкою 9 у сегменті 2 зроблені циліндричні сегменти 7. Котушка монтується на розбірній рамці, яка фікується поблизу опори ротору 11. На роторі, у площині котушки, монтуються неодимові магніти 10 з відповідною орієнтацією полюсів.

При обертанні ротору з закріпленими неодимовими магнітами, у котушці, яка оточує ротор, генерується електрострум. В наслідок цього, у сегменті 2, завдяки явищу магнітострикції, відбудеться зміна (збільшення) лінійних розмірів. Зміна лінійних розмірів викличе зміну відстані між первинним та вторинним світловодами, що обумовить порушення умов тунельного оптичного зв'язку між світловодами. Тобто, частина оптичного випромінювання, що перекачувалася до вторинного світловода буде змешуватися. Наслідком цих процесів є збільшення інтенсивності оптичного випромінювання, що проходить крізь первинний світловод, відбивається від віддзеркалюючого шару та повертається назад до мультиплектора/ демультіплектора [5, 6, 7].

Величина сили електроструму буде пропорційною до інтенсивності частки оптичного випромінювання, яке відбилося від віддзеркалюючого шару та повернулося до мультиплектора/ демультіплектора після процесу тунелювання до вторинного світловода. Випромінювання при проході крізь мультиплектор/ демультіплектор, розподіляється за довжинами хвиль.

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію сегментів зі сплавів Fe – Ni, оптичних елементів та неодимових магнітів. Сегменти зі сплавів використовуються для монтажу та взаємної фіксації елементів датчика.

У статичному режимі (відсутність обертання ротору та виникнення електроструму), випромінювання у прямому напрямку надходить до мультиплектора/ демультіплектора. У останньому відбувається розподіл випромінювання за довжинами хвиль, кожна з яких відповідає випромінюванню що прямуватиме у прямому та зворотному напрямку. Після надходження до первинного світловода, завдяки малої відстані до вторинного світловода, відбувається тунелювання частки випромінювання до вторинного світловоду [5, 6, 7]. Решта випромінювання у первинному світловоді відбивається від віддзеркалюючого шару та повертається крізь оптичне волокно до мультиплектора/ демультіплектора. На цьому етапі також відбувається калібрування датчику для компенсації впливу неконтрольованих фізичних полів.

В першому динамічному режимі, тобто початку обертання ротору та появи електроструму у котушці та при стандартних умовах навколишнього середовища, у сегменті 2, завдяки явищу магнітострикції, відбудеться зміна (збільшення) лінійних розмірів.

Зміна лінійних розмірів викличе зміну відстані між первинним та вторинним світловодами, що обумовить порушення умов тунельного оптичного зв'язку між світловодами. Тобто, частина оптичного випромінювання, що перекачувалася до вторинного світловода буде змешуватися. Наслідком цих процесів є збільшення інтенсивності оптичного випромінювання, що проходить крізь первинний світловод, відбивається від віддзеркалюючого шару та повертається назад до мультиплексора/ демультиплексора [8, 9, 10].

Величина сили електроструму буде пропорційною до інтенсивності частки оптичного випромінювання, яке відбилосся від віддзеркалюючого шару та повернулося до мультиплексора/ демультиплексора після процесу тунелювання до вторинного світловода.

Подальша обробка випромінювання, що надходить з демультиплексора, дозволить отримати електричний сигнал який буде пропорційний величині електричного струму.

В другому динамічному режимі, тобто появі електроструму при підвищеній температурі навколишнього середовища, у сегменті 2, завдяки явищу магнітострикції, відбудеться зміна (збільшення) лінійних розмірів. Така ж зміна, завдяки температурному поширенню, відбудеться й у сегментах з платиніту. Деформації геометрії сполуки сегментів не відбудеться за рахунок несуттєвої різниці у коефіцієнтах лінійного поширення. Крім того, коефіцієнти лінійного поширення скла світловодів та платиніту не відрізняються, то будуть виключені умови для виникнення паразитної модуляції інформаційного сигналу за рахунок виникнення додаткових термічних деформацій у склі.

Подальша обробка інтенсивності отриманого випромінювання аналогічна до першого динамічного режиму.

Запропоноване схемотехнічне рішення відрізняється тим, що вторинний світловод та первинний світловод, який з одного боку має віддзеркалюючий шар з сапфірового скла, а з іншого боку сполучений з оптичним волокном для підводу/відводу випромінювання, що надходить та відводиться крізь мультиплексор/ демультиплексор, приварені до зовнішніх боків основи, яка складається двох зовнішніх сегментів з платиніту та центрального сегменту зі сплаву Fe – Ni, зполученого зі струмопроводом, який утворює багатовиткову катушку навколо контрольованого ротору на двосегментній рамці, та 24 неодимових магніти, прикріплених до ротору в одній площині з катушкою.

Таким чином, в розробленому датчику комбінація електрооптичних елементів забезпечує:

більш стійке до дестабілізуючих факторів перетворення параметрів обертального руху у зміни інформаційного сигналу;

компенсацію впливу дестабілізуючих факторів на вимірювальний канал датчика;

відсутність деформації світловодного елемента датчика;

відсутність необхідності постійного корегування геометрії елементів датчика;

підвищення стабільності функціонування за рахунок використання матеріалів з близьким коефіцієнтом гнучкості та теплового поширення.

Використання пристрою, що пропонується, дозволить адекватно і достовірно оцінювати кількісні показники обертального руху роторів суднового обладнання.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Оптико-електронні засоби контролю параметрів обертального руху на основі методу просторової модуляції : монографія / М. Й. Юкиш, В. В. Кухарчук, Й. Й. Білинський. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 138 с.

2. Аш, Ж. Датчики измерительных систем. В 2 книгах. Кн. 2. Пер. с франц. – М.: Мир, 1992. – 424 с.

3. Рязанцев, Д. А. Бесконтактный датчик частоты вращения вала, предназначенный для жестких условий эксплуатации // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 2 (10). – С. 98 - 101.

4. Кирьянов, В. Л., Колганов, В. Н., Конаков, Н. Д., Куприянов, А.В. Датчики частоты вращения для изделий ракетно-космической техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://naukarus.com/datchiki-chastoty-vrascheniya-dlya-izdeliy-raketno-kosmicheskoy-tehniki> (дата обращения 17.03.2017).

5. Гуляев, Ю.В., Меш, М.Я., Проклов, В.В. Модуляционные эффекты в волоконных световодах и их применение. – М.: Радио и связь, 1991. – 150 с.

6. Пикарников, В.П., Червяков, В.В., Вековищев, В.С. Испытания трасс оптических кабелей на виброустойчивость // Судостроение. – 1989. – № 5. – С. 31-32.

7. Гавричев, В. Д., Дмитриев, А. Л. Волоконно-оптические датчики магнитного поля. – СПб: СПбНИУ ИТМО, 2013. – 83 с.

8. Белов, К. П., Магнитострикционные явления и их технические приложения. – М.: Наука. 1987. – 160 с.

9. Снайдер А., Лав Д. Теория оптических волноводов. – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.

10. Удд, Э. Волоконно-оптические датчики. – М.: Техносфера, 2008. – 520 с.