

10.31653/smf42.2021.116-121

Мацерук В. В., кер. проф. Корбан В. Х.  
Національний університет «Одеська морська академія»

## **ДИСТАНЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛУ ДИЗЕЛЯ**

### **ABSTRACT**

The paper considers and analyzes the radio wave method and device for remote control of the crankshaft speed of a marine diesel engine, based on measuring the actual Stokes parameters, the value of which determines the phase difference between the orthogonal components of an electromagnetic wave reflected from the rotating crankshaft of a marine diesel engine.

Keywords: speed, crankshaft, marine diesel, Stokes parameters, electromagnetic wave, phase difference, horn antenna, orthogonal components.

### **РЕФЕРАТ**

В роботі розглянуто та проаналізовано радіохвильовий метод і пристрій дистанційного контролю частоти обертання колінчастого валу суднового дизеля, заснованих на вимірі дійсних параметрів Стокса, за значенням яких визначається різниця фаз між ортогональними складовими електромагнітної хвилі, відбитої від обертового колінчастого валу суднового дизеля.

Ключові слова: частота обертання, колінчастий вал, судновий дизель, параметри Стокса, електромагнітна хвиля, різниця фаз, рупорна антена, ортогональні складові.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями**

Важливі переваги НВЧ вимірювачів частоти обертання колінчастого валу дизеля полягає в безконтактності вимірювань, відсутності впливу на контрольований об'єкт, можливості дистанційних вимірювань.

Більшість відомих методів вимірювання [1-5] пов'язані з зондуванням обертового об'єкта електромагнітними хвилями, прийомом відбитих хвиль і вимірюванням їх характеристик. Внаслідок видалення одних відбиваючих елементів обертового об'єкта по відношенню до передавальної і приймальної антен і наближенні інших елементів має місце модуляція відбитих хвиль, яка і дозволяє отримати інформацію про частоту обертання [6].

Для отримання відбитого від обертового об'єкта сигналу можуть бути використані різні неоднорідності: асиметрія форми об'єкта, щільності, штирі, шорсткості, наявність плям фарби на гладкій поверхні об'єкта або будь-якого діелектрика для штучного створення неоднорідностей.

НВЧ вимірювачі дозволяють реєструвати частоти обертання валів порядку  $5 \cdot 10^6$  об / хв.

При обертанні колінчастого валу дизеля відбувається як зміна його частоти обертання, так і напрямку зі змінною навантаження на гребний гвинт судна, що тягне за собою виникнення небажаних вібрацій валу. Тому важливим завданням є постійний дистанційний контроль частоти обертання валу і його вібрацій.

Аналіз останніх досягнень і публікацій, в яких розпочато розв'язування даної проблеми та висвітлювання нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми

Вельми різноманітні можливості за діапазонами контрольованих частот і умов контролю, дозволяють застосовувати розглянуті пристрої для вимірювання частоти обертання роторів, турбін, валів та інших обертових вузлів і механізмів. Однак розглянуті в них методи і пристрої володіють певними недоліками. Так в частоті відбитого сигналу, в якому проводиться виділення і перетворення доплерівських сигналів, отриманих в результаті зсуву відбитих і зондуєчих вал, що обертається, електромагнітних хвиль, а також амплітудна модуляція відбитих хвиль, такий метод не забезпечує досить високу точність вимірювання, тому що не враховується розподіл гармонійних складових в спектрі відбитого сигналу, що призводить до помилок в вимірюванні частоти обертового валу [1,2]. Облік гармонійних складових в спектрі відбитого сигналу проводиться в роботах [3,4], що дозволяє отримати більш високу точність вимірювання частоти обертання валу, проте отримання низькочастотного сигналу з кратними частоті обертання гармоніками отримати важко через вимірювання напрямку обертання і швидкості обертання валу. В роботі [5] принцип вимірювання частоти обертання валу заснований на використанні інерційного характеру площини поляризації електромагнітної хвилі. Однак через незначний кут між площинами поляризації на вході і виході резонатора, точність вимірювання кругової частоти невелика. Розглянуті методи і їх недоліки в вимірюванні кругової частоти обертання валу дизеля не задовольняють вимогам практики експлуатації суднових дизелів.

**Формулювання мети статті (постановка задачі)**

Метою даної роботи є обґрунтування радіохвильового методу і пристрою дистанційного вимірювання частоти обертання колінчастого валу суднового дизеля, заснованого на вимірюванні параметрів Стокса відбитої хвилі, який має більш високу точність, надійність і оперативність вимірів як частоти обертання колінчастого валу, так і його вібрацій.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Для вирішення поставленого завдання можна використовувати чотири дійсні величини, які називаються параметрами Стокса, кожен з яких має розмірність інтенсивності плоскої електромагнітної хвилі. Чотири параметра Стокса позначаються через  $I$ ,  $Q$ ,  $U$ ,  $V$  і визначаються через декартові компоненти поперечного електричного поля хвилі, відбитої від обертового колінчастого валу суднового дизеля

$$\begin{aligned} I &= \langle E_x^2(t) \rangle + \langle E_y^2(t) \rangle; \\ Q &= \langle E_x^2(t) \rangle - \langle E_y^2(t) \rangle; \\ U &= 2 \langle E_x^2(t) E_y^2(t) \cos[\varphi_x(t) - \varphi_y(t)] \rangle; \\ V &= 2 \langle E_x^2(t) E_y^2(t) \sin[\varphi_x(t) - \varphi_y(t)] \rangle. \end{aligned} \quad (1)$$

З рівнянь (1) видно, що параметр  $I$  є повною інтенсивністю електромагнітної хвилі, відбитої від обертового валу дизеля і завжди позитивний. Параметр  $Q$  дорівнює різниці інтенсивностей ортогональних компонент  $E_x$  і  $E_y$  електромагнітної хвилі уздовж осей  $X$  і  $Y$  декартової системи координат, відбитої від обертового колінчастого валу суднового дизеля і може дорівнювати нулю в залежності від співвідношення між лінійними  $E_x$  і  $E_y$  компонентами відбитої хвилі. Третій і четвертий параметри Стокса  $U$  і  $V$  визначають кореляційний зв'язок між амплітудами і фазами ортогональних компонент  $E_x$  і  $E_y$  відбитої від обертового валу електромагнітної хвилі. З третього і четвертого параметрів Стокса випливає, що вони пов'язані з різницею фаз між відбитими компонентами електромагнітної хвилі, яка чутлива до кутової швидкості обертання колінчастого валу суднового дизеля, а отже і з його частотою, і числом оборотів колінчастого валу за хвилину, тобто :

$$\varphi_{1xy} = \cos(\varphi_x - \varphi_y) = \frac{U}{2E_x E_y}; \quad (2)$$

або

$$\varphi_{2xy} = \sin(\varphi_x - \varphi_y) = \frac{V}{2E_x E_y} \cdot (3)$$

З урахуванням (2) і (3) частота обертання колінчастого валу суднового дизеля  $f_{KB}$  визначається з умови:

$$f_{KB} = \frac{\varphi_{1xy} \cdot n}{60} = \frac{\varphi_{2xy} \cdot n}{60}, \text{ об/хв. (4)}$$

де  $n$  - кількість обертання колінчастого валу за 1 хвилину.

Для вирішення поставленого завдання була розроблена функціональна схема пристрою дистанційного контролю частоти обертання колінчастого валу і його вібрацій, яка представлена на рис.1.

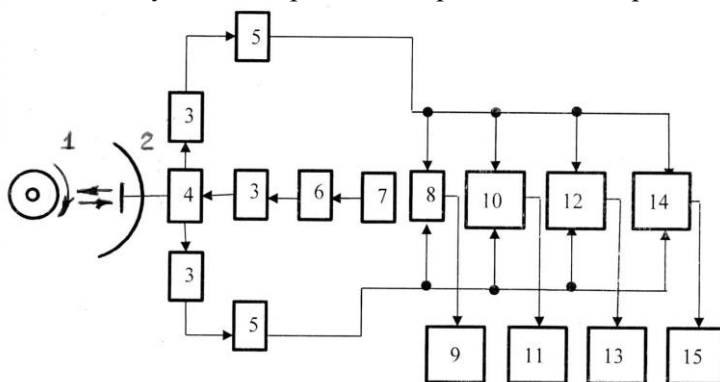


Рис.1. Функціональна схема приладу дистанційного контролювання частоти обертання і вібрації колінчастого валу суднового дизеля, де: 1 - колінчастий вал суднового дизеля; 2 - рупорна антена; 3 - антенні перемикачі; 5 - приймачі ортогональних  $E_x$ ,  $E_y$  компонент відбитої від колінчастого валу суднового дизеля електромагнітної хвилі; 6 - модулятор; 7 - НВЧ генератор; 8 - пристрій формування першого параметра Стокса; 9 - дисплей комп'ютера; 10 - пристрій формування другого параметра Стокса; 11 - реєстратор вібрації колінчастого валу; 12, 14 - формувачі третього і четвертого параметрів Стокса; 13, 15 - реєстратори частоти і напрямку обертання колінчастого валу.

Робота пристрою відбувається наступним чином. Електромагнітна хвиля лінійної поляризації з кутом нахилу вектору хвилі під кутом 45 градусів, що сформована пристроями 4, 3, 6 і 7 за допомогою рупорної антени 2 опромінює колінчастий вал суднового дизеля, що обертається. Відбиті від обертового валу дві ортогональні складові хвилі приймаються тією ж рупорною антеною 2 і через поляризаційний роздільник 4 і антенні перемикачі ортогональних каналів 3 надходять на приймальні пристрої 5, де відбувається їх перетворення і посилення, необхідне для формування чотирьох параметрів Стокса  $I$ ,  $Q$ ,  $U$ ,  $V$ . Перший параметр Стокса  $I$  використовується для контролю рівня потужності відбитої від обертового колінчастого валу електромагнітної хвилі. Другий  $Q$  параметр Стокса дозволяє контролювати і вимірювати вібрацію колінчастого валу, яка виникає. Третій і четвертий параметри Стокса  $U$  і  $V$  дозволяють по різниці фаз між ортогональними складовими відбитої від обертового валу електромагнітної хвилі вимірювати частоту обертання колінчастого валу і напрямок обертання.

### **Висновки і перспектива подальшої роботи за даним напрямком**

1 Розглянуто радіохвильовий метод дистанційного контролю частоти обертання колінчастого валу суднового дизеля при змінному навантаженні на гребний гвинт судна.

2 Розроблено функціональну схему пристрою, що реалізує радіохвильовий метод дистанційного контролю частоти обертання колінчастого валу суднового дизеля.

Подальші дослідження будуть спрямовані на удосконалення певних вузлів розробленого пристрою.

### *СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ*

1. Пат. 3593136. США, НКІ: 324-175. Sensing rotational speed by amplitude modulating a continuous microwave signal / F. W. Chapman, F.E. Jamerson, N.L. Muench, 1971.

2. А. с. 1045128 СССР. МКІ<sup>4</sup> G01P 3/48. Устройство для измерения скоростей вращения валов двигателей / Т. И. Щеломенцев, В.А. Константинов, А. М. Боглов и др. // Открытия. Изобретения. 1983, №36.

3. А. с. 278263 СССР. МКІ<sup>4</sup> G01P 3/48. Радиолокационный способ измерения частоты вращения / Б.М. Петров// Открытия. Изобретения. 1974, №45.

4. Обидовский В.Г. Радиолокационный измеритель частоты вращения / В.Г. Обидовский, В.В. Савельев, В.В. Петров // Рассеяние электромагнитных волн. Межвуз. тематический сб. – Таганрог: Таганрогский радиотехнический ин-т им. Калмыкова, 1978. – Вып. 2. – С. 77-81.

5. Янг Л. Сверхвысокочастотный датчик вращения / Л. Янг, А.Дж. Бар // ТИИЭР, 1968. – Т. 56. – №11. - С.343-344.

6 Константинов В.А. Измерение малых перемещений и вибраций радиотехническими методами / В.А. Константинов, С.Г. Трубникова // Метрология, 1972. - №5. – С. 16-23.