

А. В. РЕМІНЬ

аспірант кафедри «Підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового технологічного обладнання»  
Одеський національний морський університет  
ORCID: 0009-0009-7922-6371

П. О. СЕМЕНОВ

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри «Підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового технологічного обладнання»  
Одеський національний морський університет  
ORCID: 0000-0003-4121-6011

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДШИПНИКІВ ПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА

У сучасних умовах більшість вантажно-розвантажувальних операцій, пов'язаних із контейнерними перевезеннями, здійснюється із застосуванням причальних контейнерних перевантажувачів. Забезпечення їхньої безперебійної та ефективної роботи потребує підтримання високого рівня технічної справності основного обладнання. Підвищені вимоги до надійності експлуатації перевантажувальних механізмів у портових комплексах зумовлюють необхідність розроблення та впровадження нових, більш досконалих методів технічної діагностики в процесі їх функціонування.

Оцінити фактичний технічний стан перевантажувача лише теоретичними методами практично неможливо через постійні зміни навантажень та динамічні режими роботи обладнання. Тому підвищення експлуатаційної надійності контейнерних перевантажувачів досягається шляхом розроблення ефективних методів контролю та діагностики стану окремих елементів їх конструкції.

До пріоритетних завдань цього напрямку належить своєчасне визначення технічного стану механізму підйому вантажу, оскільки наявність прихованих дефектів його складових може призвести до виникнення аварійних ситуацій, виходу обладнання з ладу та значних простоїв виробничого процесу. Діагностика в цьому контексті дає змогу виявляти несправності механізмів без необхідності їх демонтажу або розбирання, що суттєво скорочує час технічного обслуговування.

На сьогодні розроблено низку методів контролю технічного стану підшипникових вузлів обертальних механізмів [1–7]. Однак, попри значні досягнення у цій сфері, зазначені методи часто характеризуються високою складністю реалізації, обмеженою сферою застосування та наявністю певних технічних і експлуатаційних обмежень. У зв'язку з цим питання удосконалення системи діагностики підшипникових вузлів контейнерних перевантажувачів залишається актуальним науково-технічним завданням.

Методи вібродіагностики, що застосовуються у сучасних дослідженнях, забезпечують проведення комплексного статистичного аналізу на основі періодичних і квазіперіодичних випадкових процесів. Такий підхід передбачає виділення модулюючих стаціонарних компонентів і подальший спектрально-кореляційний аналіз їх параметрів, що дозволяє отримати інформацію про характер і ступінь розвитку дефектів. Діагностичні ознаки формуються з використанням імовірнісних характеристик першого та другого порядків; при цьому саме аналіз параметрів другого порядку дає можливість виявляти дефекти на ранніх стадіях їх виникнення [2–6].

**Ключові слова:** причальний контейнерний перевантажувач, механізм підйому, вібродіагностика, дослідження технічного стану, метод вібродіагностики, фактичний технічний стан.

A. V. REMIN

Postgraduate Student at the Department of Hoisting and Transport Machines  
and Engineering of Port Technological Equipment  
Odesa National Maritime University.  
ORCID: 0009-0009-7922-6371

P. O. SEMENOV

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Hoisting and Transport Machines  
and Engineering of Port Technological Equipment  
Odesa National Maritime University  
ORCID: 0000-0003-4121-6011

## RESEARCH ON THE TECHNICAL CONDITION OF THE DRIVE BEARINGS OF THE QUAY CONTAINER HANDLER LIFTING MECHANISM

*Under modern conditions, most cargo handling operations related to container transportation are carried out using quay container handlers. Ensuring their uninterrupted and efficient operation requires maintaining a high level of technical reliability of the main equipment. Increased requirements for the operational reliability of handling mechanisms in port complexes necessitate the development and implementation of new, more advanced methods of technical diagnostics during their operation.*

*Assessing the actual technical condition of a container handler solely by theoretical methods is practically impossible due to constantly changing loads and the dynamic operating modes of the equipment. Therefore, improving the operational reliability of container handlers is achieved through the development of effective methods for monitoring and diagnosing the condition of individual components of their structure.*

*A priority task in this area is the timely determination of the technical condition of the lifting mechanism, since the presence of hidden defects in its components can lead to emergency situations, equipment failures, and significant production downtime. In this context, diagnostics allow the detection of mechanism faults without the need for dismantling or disassembly, which significantly reduces maintenance time.*

*Currently, a number of methods for monitoring the technical condition of bearing assemblies in rotary mechanisms have been developed [1–7]. However, despite significant achievements in this field, these methods are often characterized by high implementation complexity, limited scope of application, and certain technical and operational restrictions. Therefore, improving the diagnostic system for the bearing assemblies of container handlers remains a relevant scientific and technical challenge.*

*Vibration diagnostic methods used in modern studies enable comprehensive statistical analysis based on periodic and quasi-periodic random processes. This approach involves isolating modulating stationary components and performing subsequent spectral-correlation analysis of their parameters, which provides information about the nature and degree of defect development. Diagnostic features are formed using first- and second-order probabilistic characteristics; in particular, the analysis of second-order parameters allows the detection of defects at the early stages of their occurrence [2–6].*

**Key words:** *quay container handler, lifting mechanism, vibration diagnostics, technical condition assessment, vibration diagnostic method, actual technical condition.*

### Постановка проблеми

У сучасних умовах більшість операцій з вантаження та розвантаження контейнерів виконується із використанням причальних контейнерних перевантажувачів. Визначення їх фактичного технічного стану лише за допомогою теоретичних підходів є практично неможливим, оскільки обладнання працює в умовах змінних навантажень і динамічних режимів. Тому підвищення експлуатаційної надійності контейнерних перевантажувачів слід забезпечувати шляхом розроблення дієвих методів контролю та діагностики технічного стану окремих конструктивних елементів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вивчення технічного стану підшипників приводного механізму підйому причального контейнерного перевантажувача ґрунтується на сучасних методах вібродіагностики, статистичного аналізу вібраційних сигналів та застосуванні стохастичних моделей. Огляд останніх джерел дозволяє виділити ключові напрями досліджень, досягнення та обмеження існуючих підходів.

Стохастичні методи аналізу коливань

Яворський І.М. у фундаментальній праці «Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань» розробив теоретичні основи стохастичного моделювання коливальних процесів у механічних системах. Ця робота підкреслює важливість використання моделей випадкових процесів для опису динаміки вузлів з непостійними навантаженнями та складною взаємодією елементів. Особливо це стосується великих обертових механізмів, таких як приводи підйому контейнерних кранів, де навантаження та вібрації є непередбачуваними і змінюються у часі.

Статистичний та векторно-тензорний аналіз

Дослідження Мацька, Яворського, Юзефовича та Семенова (2018) «Статистичний векторно-тензорний аналіз вібрацій центрифуги з розвинутим дефектом обертового вузла» демонструє приклад застосування статистичних методів до виявлення дефектів у складних обертових системах. Автори застосували векторно-тензорний аналіз для обробки тривимірних вібраційних сигналів, що дозволяє виділяти закономірності та моделювати вплив

дефектів на динаміку вузла. Даний підхід забезпечує високу чутливість до змін стану підшипника навіть на ранніх стадіях розвитку дефекту, що є критично важливим для підйомних механізмів контейнерних перевантажувачів.

Коваріаційні інваріанти та періодично-корельовані процеси

У роботі Яворського, Мацько, Трохима та Семенова (2020) «The coherent and component estimation of covariance invariants for vectorial periodically correlated random processes and its application» пропонується метод оцінки коваріаційних інваріантів для векторних періодично-корельованих випадкових процесів. Такий підхід дозволяє ефективно виділяти інформацію про дефекти у складних механізмах без необхідності розбирання вузлів. Використання коваріаційних інваріантів робить можливим аналіз змішаних сигналів, що містять як періодичні, так і випадкові компоненти, що відповідає реальним умовам роботи приводного механізму підйому контейнерного крана, де сигнал вібрації є надзвичайно динамічним.

**Формулювання теми дослідження**

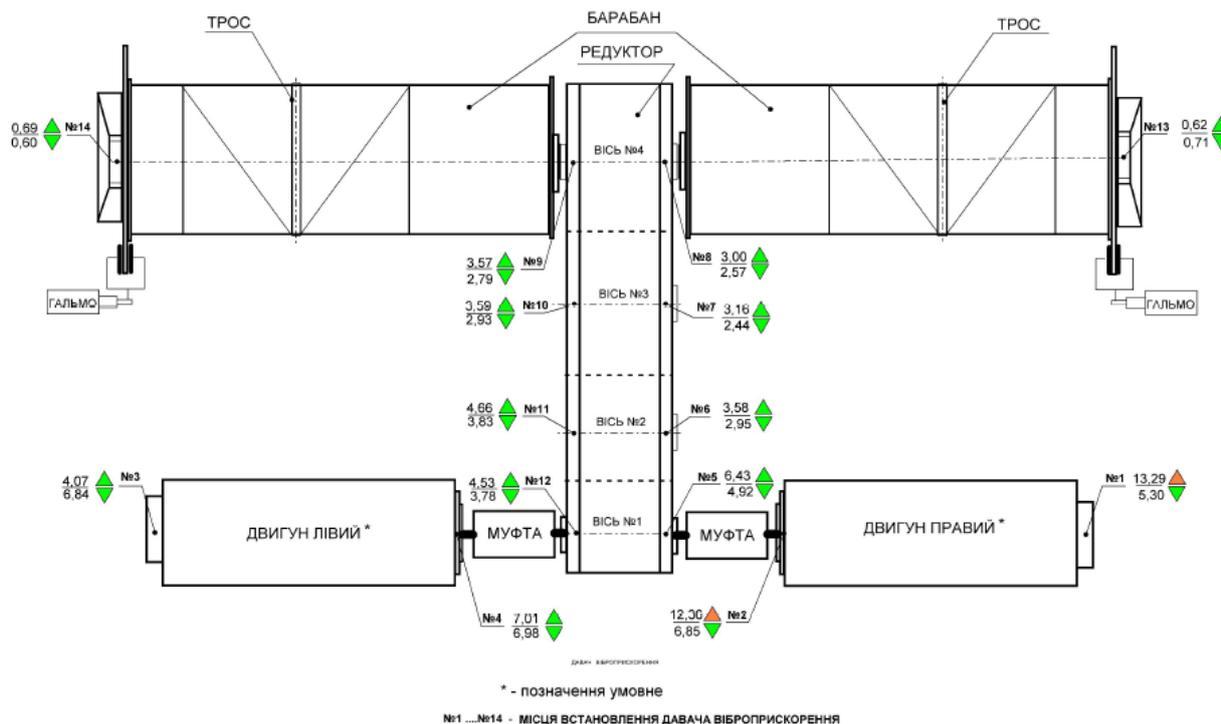
Метою статті є оцінка методу вібродіагностики на причальному контейнерному перевантажувачі, який перевантажує контейнери з судна безпосередньо на тягач, що знаходиться у порталі ПКП. Механізм підйому даної вантажопідйомної машини представлений двома двигунами, двома муфтами, двома барабанами та редуктором.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

Було здійснено вимірювання та запис сигналів вібрації підшипникових вузлів механізму підйому вантажу причального контейнерного перевантажувача «ЗРМС». Схему розташування контрольних точок приводу механізму подано на рис. 1.

Точки контролю для реєстрації вібраційних сигналів обрано на корпусі підшипникових вузлів (рис. 1). У кожній із них проводився запис сигналів вібрації під час роботи механізму як на підйом, так і на опускання спредера. Для цього використовувалися давачі віброприскорення ДВЗ-70. Частота дискретизації сигналів вібрації була сталою для всіх підшипникових вузлів і становила 10 кГц, а тривалість одного запису – 5 с.

Варто зазначити, що під час проведення вимірювань давачі кріпилися до корпусу механізму за допомогою магнітних основ, що може спричиняти додаткову похибку у визначенні абсолютних значень вібрацій.



**Рис. 1. Схема розташування точок контролю та виміряне значення СКЗ віброприскорення (м/с²) приводу механізму підйому контейнерного перевантажувача.**

Для оцінювання технічного стану підшипникових вузлів механізму було застосовано такі методи: визначення середньоквадратичних значень (СКЗ) віброприскорення, аналіз співвідношення сигнал/шум, кореляційний аналіз вібраційних сигналів, спектральний та нестационарний аналіз стохастичних складових вібрацій. Показники СКЗ віброприскорення (у мм/с²) дають змогу визначити рівень вібрацій підшипникового вузла відповідно до встановлених нормативів.

На основі сигналів віброприскорення отримано реалізації сигналів віброприскорення та для кожного з сигналів визначено середньоквадратичне значення (СКЗ) сигналу.

Для даної роботи буде розглянуто 2 підшипникових вузла, а саме перший та третій.

Середньоквадратичні значення (СКЗ) вібраційного сигналу, зафіксованого на контрольних точках приводу механізму, визначали відповідно до стандартів ISO 10816-1:2007 та ISO 2372 і представлені в таблиці 1. Сигнали та їх перетворення були записані на правому електродвигуні.

Підшипниковий вузол № 1:

графіки кореляційних функцій для кожної складової вібрації в стаціонарному наближенні наведено на рис. 2, а спектральні густини потужності – на рис. 3. Аналіз спектру вібраційного сигналу (рис. 3) показав наявність інтенсивної гармонічної складової на частоті 3300 Гц, яка відповідає понад 90 % потужності сигналу, що свідчить про початкову стадію зносу елементів підшипника.

Додатково виконано нестационарний аналіз вібраційного сигналу. Сигнал було розділено на детерміновану та стохастичну складові. У стохастичній складовій виявлення модуляцій основних гармонічних складових стаціонарними випадковими процесами не спостерігалось.

Таблиця 1

Результати вимірювань

№ точки	Найменування вузла	Фактичне значення СКЗ, м/с <sup>2</sup>		Граничне значення СКЗ
		при підйомі	при опусканні	
1	Електродвигун правий	13,29	5,3	11,1
2	-//-	12,36	6,85	11,1
3	Електродвигун лівий	7,01	6,98	11,1
4	-//-	4,07	6,84	11,1
5	Редуктор	6,43	4,92	11,1
6	-//-	3,58	2,95	11,1
7	-//-	3,16	2,44	11,1
8	-//-	3,00	2,57	11,1
9	-//-	3,57	2,79	11,1
10	-//-	3,59	2,93	11,1
11	-//-	4,66	3,83	11,1
12	-//-	4,53	3,78	11,1
13	Виносна опора правого барабану	0,62	0,71	11,1
14	Виносна опора лівого барабану	0,69	0,60	11,1

Аналіз дисперсії стохастичної складової показав, що відношення мінімального значення дисперсії за період до максимального становить 0,42. Зі схеми на рис 4 видно, що дисперсія має викид у певному періоді. Серед значущих компонентів дисперсії (рис. 5) виділяється нульовий компонент.

Стан підшипникового вузла № 1 незадовільний.

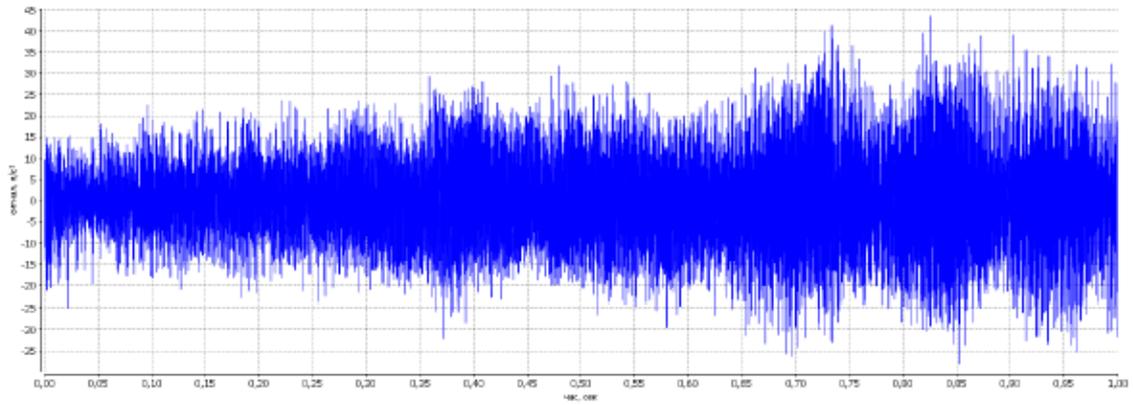
Підшипниковий вузол № 3:

Графіки оцінок кореляційних функцій в стаціонарному наближенні кожної зі складових вібрації та оцінки їх спектральних густин потужності показані на рис. 6.

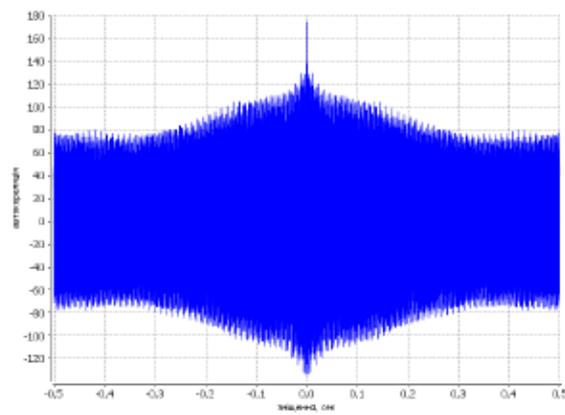
У стохастичній складовій вібраційних сигналів модуляції стаціонарними випадковими процесами основних гармонічних складових не виявлено. Стан підшипникового вузла № 3 задовільний.

#### Висновки

Визначено, що метод вібродіагностики на причальному контейнерному перевантажувачі, який перевантажує контейнери з судна безпосередньо на тягач, що знаходиться у порталі ПКП, є надзвичайно дієвим. З розглянутих в роботі підшипникових вузлів було встановлено, що підшипниковий вузол № 1 правого електродвигуна має сильно підвищений рівень вібрації при роботі на підйом, що свідчить про наявність початкової стадії зносу елементів підшипників.

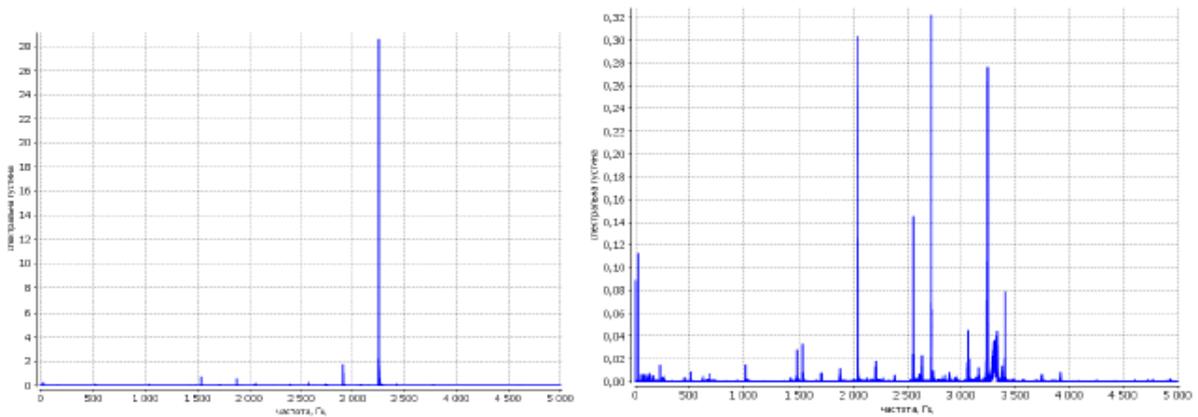


(а)



(б)

Рис. 2. Сигнал (а), кореляційна функція (б) в точці № 1



а)

б)

Рис. 3. спектральна густина потужності складових вібрації в точці № 1 при підйомі (а) та опусканні (б) вантажу

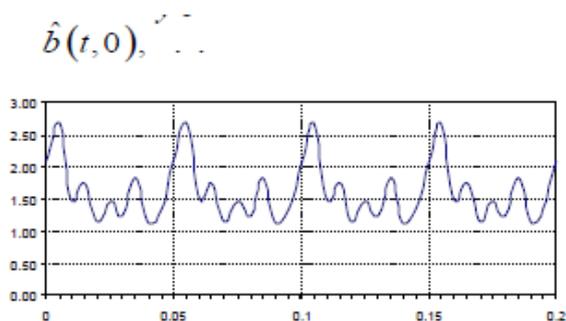


Рис. 4. Дисперсія стохастичної складової сигналу

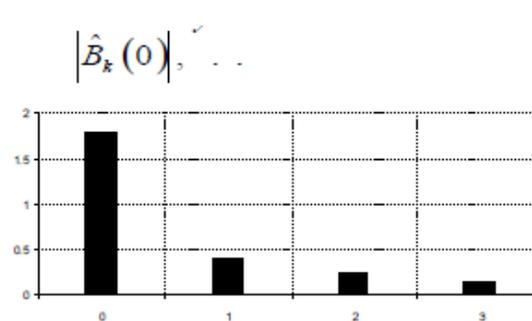
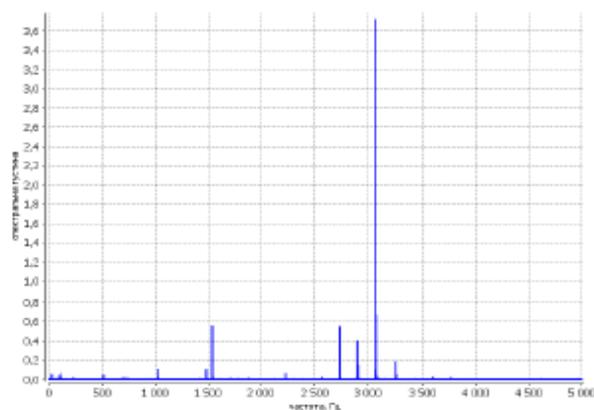
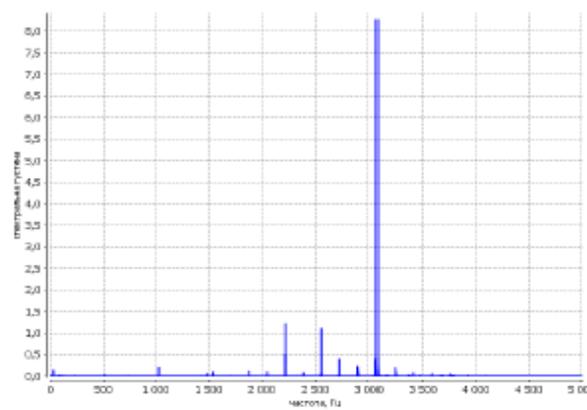


Рис. 5. Компоненти дисперсії стохастичної складової сигналу



а)



б)

Рис. 6. Сигнал, кореляційна функція та спектральна густина потужності складових вібрацій в точці № 3 при підйомі (а) та опусканні (б) вантажу

#### Список використаної літератури

1. Яворський І. М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань / під заг. ред. акад. НАН України З. Т. Назарчука. Львів: ФМІ НАНУ, 2013. с. 804.
2. Мацько І. Й., Яворський І. М., Юзефович Р. М., Семенов П. О. Статистичний векторно-тензорний аналіз вібрацій центрифуги з розвинутим дефектом обертового вузла. Фізично-хімічна механіка матеріалів. № 2. 2018. Т. 54. с. 140–147.
3. Юзефович Р. М., Яворський І. М., Мацько І. Й., Семенов П. О. Визначення покомпонентної функції когерентності взаємозв'язаних періодично нестационарних випадкових сигналів. Відбір і обробка інформації. Вип. 44. 2016. с. 17–28.

#### References

1. Yavorskyi, I. M. (2013). Mathematical models and analysis of stochastic oscillations (Z. T. Nazarchuk, Ed.) [Mathematical Models and Analysis of Stochastic Oscillations]. Lviv: FMI NAS of Ukraine. (in Ukrainian).
2. Matsko, I. Y., Yavorskyi, I. M., Yuzefovych, R. M., & Semenov, P. O. (2018). Statistical vector-tensor analysis of vibrations of a centrifuge with a developed defect of the rotating unit. Physico-Chemical Mechanics of Materials [Statistical Vector-Tensor Analysis of Centrifuge Vibrations with an Advanced Rotating Assembly Defect. Physical-Chemical Mechanics of Materials], 54(2), 140–147. (in Ukrainian).
3. Yuzefovych, R. M., Yavorskyi, I. M., Matsko, I. Y., & Semenov, P. O. (2016). Determination of the component-wise coherence function of interrelated periodically non-stationary random signals. Selection and Processing of Information [Determination of the Componentwise Coherence Function of Interrelated Periodically Non-Stationary Random Signals. Information Selection and Processing], 44, 17–28. (in Ukrainian).

Дата першого надходження рукопису до видання: 30.11.2025  
 Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 15.12.2025  
 Дата публікації: 31.12.2025