

**Ремінь А.В.**

Одеський національний морський університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРОАКТИВНОСТІ ПРИВОДУ КАБЕЛЬНОГО БАРАБАНА ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Сучасний технічний прогрес призвів до того, що машини та інше важке обладнання стали невід'ємною складовою повсякденного життя людини. Щоденно пристрої виконують мільйони операцій різного рівня складності та важливості. Жодне сучасне підприємство, фабрика чи завод не здатні ефективно функціонувати або конкурувати без застосування подібного обладнання. Водночас науковці продовжують удосконалювати технології, прагнучи до ще вищих показників розвитку.

Ще кілька десятиліть тому створені машини здавалися вершиною технічного прогресу, проте сьогодні на зміну їм приходять нові зразки, здатні виконувати роботу кількох попередніх із більшою швидкістю, точністю та ефективністю. Такий технологічний прорив значно підвищив продуктивність, але водночас збільшив навантаження на обладнання. Як наслідок, окремі деталі машин піддаються інтенсивнішому зносу. Вихід з ладу навіть однієї складової може спричинити пошкодження інших елементів або поломку всієї установки. Зупинка роботи обладнання на підприємстві може призвести до простою виробництва, економічних втрат і зниження конкурентоспроможності. У деяких випадках пошкодження є настільки серйозними, що ремонт стає недоцільним і виникає потреба у заміні окремих вузлів чи навіть усієї машини.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває необхідність діагностування технічного стану механізмів портових кранів. Одним із найефективніших методів контролю є вібродіагностика. Її застосування дає змогу виконувати широкий спектр статистичних досліджень на основі аналізу періодичних і квазіперіодичних випадкових процесів, зокрема проводити спектрально-кореляційний аналіз модулюючих стаціонарних компонентів, що містять інформацію про характер дефектів. Діагностичні ознаки формуються за допомогою ймовірнісних характеристик першого та другого порядків, що дозволяє виявляти дефекти механізмів на ранніх етапах їхнього розвитку.

**Ключові слова:** вібродіагностика, кабельний барабан, методи вібродіагностики, причальний контейнерний перевантажувач, дослідження віброактивності, віброактивність.

**Постановка проблеми.** Підшипники кочення, що працюють у портових механізмах, піддаються впливу агресивного морського середовища, підвищеної вологості, солей та змінних навантажень. Це призводить до поступового руйнування доріжок кочення та появи мікротріщин, які збільшують рівень вібрації.

Сучасні причальні контейнерні перевантажувачі є ключовими елементами портової логістики, забезпечуючи швидке та ефективно завантаження та розвантаження контейнерів на судах. Одним із основних вузлів цих машин є привод кабельного барабану, який відповідає за підйом і опускання вантажів, передачу електроживлення та забезпечення безпечної роботи крана. Ефективна та надійна робота цього механізму є критичною для

забезпечення безперервного функціонування портових терміналів, а будь-які порушення в його роботі можуть призводити до значних виробничих та економічних втрат.

Однією з основних причин несправностей приводу кабельного барабану є підвищена віброактивність, яка виникає під впливом циклічних динамічних навантажень, інтенсивних робочих циклів, зміни маси вантажів, нерівномірності тросових механізмів, а також зовнішніх факторів, таких як вітер, корозія та температурні коливання. Інтенсивна вібрація призводить до прискореного зношування підшипників, редукторів, муфт та інших елементів механізму, що в свою чергу знижує термін служби обладнання, підвищує ризик аварійних зупинок і зменшує ефективність експлуатації крана.

Сучасні методи технічного контролю, зокрема вібродіагностика, дозволяють проводити раннє виявлення дефектів, визначати стан вузлів та прогнозувати залишковий ресурс обладнання. Проте наявні наукові та практичні дослідження, зокрема роботи Гребенюка В. І. (2019) та Пономаренка С. П. (2021), а також міжнародні стандарти ISO 10816-3 [2, с. 52], в основному охоплюють загальні підходи до оцінки вібрацій машин та діагностики підшипників, але не враховують комплексну специфіку приводу кабельного барабану причального контейнерного перевантажувача. Це створює необхідність у проведенні спеціалізованих досліджень, спрямованих на визначення особливостей віброактивності цього вузла та розробку методів підвищення його надійності.

Таким чином, ключова проблема дослідження полягає у відсутності системного підходу до вивчення віброактивності приводу кабельного барабану, що ускладнює своєчасне виявлення дефектів та оптимізацію режимів експлуатації крана. Вирішення цієї проблеми дозволить не лише підвищити ефективність і безпеку роботи перевантажувачів, а й зменшити витрати на ремонт та обслуговування, що має особливе значення для сучасних портових терміналів із високим рівнем вантажопотоку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження технічного стану механізмів причальних контейнерних перевантажувачів та, зокрема, приводів кабельних барабанів, є предметом інтенсивної уваги вітчизняних і міжнародних науковців. Значною мірою розвиток сучасних методів оцінювання віброактивності базується на положеннях класичної та прикладної вібродіагностики, викладених у фундаментальних працях провідних авторів.

Одним із ключових джерел, що формують методологічну базу дослідження вібраційних процесів у машинобудуванні, є монографія Гребенюка В. І. «Діагностика машин за вібраційними сигналами» (2019). У роботі ґрунтовно розглянуті закономірності формування вібраційних сигналів у механічних системах, викладено принципи спектрального аналізу, методи оброблення стохастичних коливань та моделювання вібраційних характеристик [1, с. 17]. Автором підкреслюється важливість використання комплексних показників – енергетичних, статистичних та спектральних – для своєчасного виявлення дефектів. Для механізмів портових перевантажувачів, де навантаження мають циклічний характер, зазначені підходи є особливо актуальними.

Суттєвий внесок у розробку методів діагностики пошкоджень підшипникових вузлів, які є одними з найважливіших елементів приводу кабельного барабану, зроблено в роботі Пономаренка С. П. «Вібраційна діагностика підшипників кочення» (2021). У ній детально проаналізовано процеси зародження дефектів на доріжках кочення та елементах підшипників, наведено методики визначення характерних частот пошкоджень та запропоновано алгоритми їх виявлення за допомогою спектральних і кореляційних показників. Дослідження Пономаренка особливо важливе, оскільки саме підшипникові вузли приводу кабельного барабану зазнають підвищених динамічних навантажень у режимах роботи контейнерного перевантажувача [3, с. 9].

Актуальні проблеми експлуатації контейнерних перевантажувачів у портових умовах розглянуто в публікаціях журналу «Морські порти України», №4 за 2023 рік. У науково-практичних статтях цього видання акцентується увага на необхідності своєчасної діагностики електромеханічних приводів, аналізуються випадки підвищеної вібраційної активності механізмів, наведено практичні приклади відмов, пов'язаних з нерегулярною технічною діагностикою кабельних барабанів на портових кранах [4, с. 5]. Окремі матеріали журналу підкреслюють зростання впливу динамічних навантажень у зв'язку з пришвидшенням робочих циклів сучасних контейнерних перевантажувачів, що додатково підтверджує актуальність дослідження віброактивності таких механізмів.

Таким чином, аналіз останніх наукових джерел свідчить про значну увагу до проблем вібраційного моніторингу та технічної діагностики приводів і несучих елементів вантажопідіймальних машин. Проте комплексні дослідження віброактивності приводу саме кабельного барабану причального контейнерного перевантажувача, що працює в умовах циклічних навантажень, інтенсивних термічних та вітрових впливів, залишаються обмеженими. Це зумовлює необхідність подальшого поглиблення аналітичних та експериментальних підходів для забезпечення підвищення ефективності та надійності його експлуатації.

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка методів вібродіагностики для дослідження віброактивності приводу кабельного барабану причального контейнерного перевантажувача для забезпечення підвищення його ефективної експлуатації.

**Виклад основного матеріалу.** Високі вимоги до надійності роботи контейнерних перевантажу-

вачів у портах зумовлюють необхідність пошуку та впровадження нових методів їх технічної діагностики під час експлуатації. Підвищення рівня надійності цих систем досягається завдяки розробці ефективних способів контролю стану окремих конструктивних елементів.

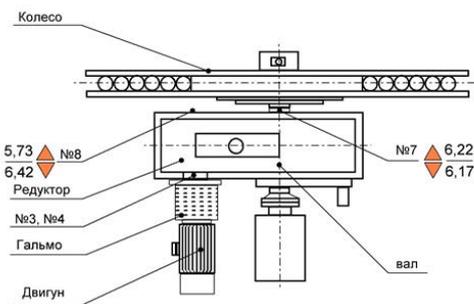
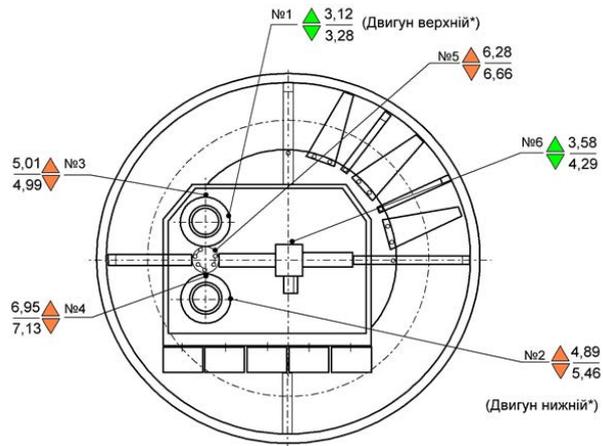
Одним із ключових завдань цього напрямку є забезпечення діагностики технічного стану механізму підйому вантажу, оскільки наявність прихованих дефектів його складових може спричинити аварійні ситуації та небажані простої.

Застосування методів вібродіагностики дозволяє проводити широкий спектр статистичних досліджень, що ґрунтуються на аналізі періодичних та квазіперіодичних випадкових процесів. Зокрема, здійснюється виділення та спектрально-кореляційний аналіз модулюючих стаціонарних компонентів, які містять важливу інформацію про характер дефектів. Діагностичні ознаки формуються на основі імовірнісних характеристик першого та другого порядків, причому саме за показниками другого порядку можливо виявити дефекти механізмів на ранніх етапах їх розвитку.

Було здійснено вимірювання та реєстрацію вібраційних сигналів підшипникових вузлів механізму кабельного барабана спредера причального контейнерного перевантажувача «ZPMC», заводський № ZP06-799-1, інвентарний № 7001.

На основі зареєстрованих сигналів віброприскорення отримано їхні реалізації, для кожного з яких обчислено середньоквадратичне значення (СКЗ) сигналу. Результати вимірювань, виконаних під час роботи приводу без навантаження під спредером, наведено у таблиці 1. У ній подано середньоквадратичні значення (СКЗ) сигналів вібрації, зафіксованих у контрольних точках приводу механізму відповідно до вимог стандартів ISO 10816-1:2007 та ISO 2372.

Результати дослідження підтверджують, що аналіз вібрацій – це ефективний метод діагностики технічного стану підшипників. Регулярний



\* - позначення умовне

**Рис. 1.** Контрольні точки для реєстрації вібраційних сигналів приводу кабельного барабана спредера були визначені на корпусах підшипникових вузлів. У кожній точці здійснювався запис сигналів вібрації під час роботи механізму в режимах підйому та опускання спредера із застосуванням давачів віброприскорення ДВ3-70. Частота дискретизації вібраційних сигналів була сталою для всіх підшипникових вузлів і становила 10 кГц, а тривалість запису однієї реалізації сигналу для кожного підшипника – 5 с

моніторинг дає змогу виявляти дефекти на ранніх етапах і підвищувати надійність обладнання.

**Висновки.** Сучасне обладнання, якщо воно оснащено новітніми технологічними рішеннями,

Таблиця 1

№ точки	Найменування вузла	Фактичне значення СКЗ, м/с <sup>2</sup>		Граничне значення СКЗ
		при підйомі	при опусканні	
1	Електродвигун верхній	3,12	3,28	4,4
2	Електродвигун нижній	<b>4,89</b>	<b>5,46</b>	4,4
3	Редуктор	<b>5,01</b>	<b>4,99</b>	4,4
4	-//-	<b>6,95</b>	<b>7,13</b>	4,4
5	-//-	<b>6,28</b>	<b>6,66</b>	4,4
6	-//-	3,58	4,29	4,4
7	-//-	<b>6,22</b>	<b>6,17</b>	4,4
8	-//-	<b>5,73</b>	6,42	4,4

має дуже високу вартість і дороге в обслуговуванні. Тому необхідно думати про надійність використовуваної техніки і залучати новітні технології діагностування обладнання. Апаратура певного підприємства потребує періодичного огляду. Здійснити заміну деталі певного вузла машини або вчинити необхідні заходи щодо зупинення розвитку дефекту. Варто зазначити, що огляд обладнання необхідно проводити не лише в період виконання ним своїх функцій, а і в період виробництва. Нерідко причиною виходу з ладу машини стає використання деталей, в яких було допущено дефект ще при виготовленні.

Проведений аналіз літератури та сучасних досліджень у сфері вібродіагностики показав, що оцінка технічного стану приводів кабельних барабанів причальних контейнерних перевантажувачів є критично важливою для забезпечення їх ефективної та безперервної експлуатації. Існуючі підходи, описані у працях Гребенюка В. І. (2019) та Пономаренка С. П. (2021), а також стандартизовані методики ISO 10816-3, дозволяють виявляти дефекти підшипників та інших механічних елементів на ранніх стадіях, однак вони не завжди враховують специфіку динамічних навантажень, циклічності робочих циклів і конструктивних особливостей приводів кабельних барабанів саме причальних контейнерних кранів.

Результати досліджень свідчать про наявність підвищеної віброактивності приводів, що призводить до прискореного зношування підшипників, редукторів та муфт. Недооцінка цього фактору може стати причиною аварійних зупинок, простоїв виробництва та значних економічних втрат. Разом з тим, систематичне застосування вібродіагностичних методів дозволяє:

1. Виявляти дефекти механізмів на ранніх етапах розвитку, що забезпечує своєчасне планування технічного обслуговування.

2. Оптимізувати режими експлуатації приводу, зменшуючи ризик виникнення аварійних ситуацій.

3. Підвищувати термін служби вузлів механізму та загальну надійність контейнерного перевантажувача.

4. Впроваджувати цифрові системи моніторингу, що інтегруються із системами управління портовими терміналами для оперативного контролю стану обладнання.

Таким чином, комплексне дослідження віброактивності приводу кабельного барабану дозволяє не лише підвищити ефективність роботи кранів, але й забезпечити економічну доцільність їх експлуатації. Подальші наукові дослідження мають бути спрямовані на розробку:

- математичних моделей прогнозування віброактивності та залишкового ресурсу вузлів приводу;
- адаптивних алгоритмів обробки вібраційних сигналів, що враховують нестабільність навантажень;
- інтегрованих систем вібромоніторингу із можливістю дистанційного контролю та раннього попередження про потенційні відмови.

Реалізація цих напрямів сприятиме створенню «розумних» портових терміналів, де обладнання функціонуватиме з максимальною надійністю та продуктивністю, а управління його експлуатацією базуватиметься на точних та своєчасних даних про технічний стан механізмів.

Результати дослідження підтверджують, що аналіз вібрацій – це ефективний метод діагностики технічного стану підшипників. Регулярний моніторинг дає змогу виявляти дефекти на ранніх етапах і підвищувати надійність обладнання.

#### Список літератури:

1. Гребенюк В. І. Діагностика машин за вібраційними сигналами. – Київ : Техніка, 2019.
2. ISO 10816-3: Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts.
3. Пономаренко С. П. Вібраційна діагностика підшипників кочення. Одеса : НУ 'ОМА', 2021.
4. Журнал «Морські порти України». №4. 2023.

#### Remin A.V. RESEARCH OF THE VIBROACTIVITY OF THE CABLE DRUM DRIVE OF A QUAY CONTAINER CRANE TO ENSURE THE IMPROVEMENT OF ITS EFFICIENT OPERATION

*Modern technological progress has led to machines and other heavy equipment becoming an integral part of human everyday life. Every day, devices perform millions of operations of varying complexity and importance. No modern enterprise, factory, or plant can function effectively or remain competitive without using such equipment. At the same time, researchers continue to improve technologies, striving for even higher levels of advancement.*

*A few decades ago, existing machines seemed to represent the peak of technological progress, but today they are being replaced by new models capable of performing the work of several previous generations with greater speed, precision, and efficiency. Such technological breakthroughs have significantly increased productivity;*

however, they have also increased the load on equipment. As a result, individual machine components are subjected to more intensive wear. The failure of even a single component can cause damage to other elements or even lead to the breakdown of the entire system. Equipment downtime at an enterprise may result in production interruptions, economic losses, and reduced competitiveness. In some cases, the damage is so severe that repairs become impractical, making it necessary to replace certain assemblies or even the entire machine.

In this context, the need to diagnose the technical condition of port crane mechanisms becomes particularly relevant. One of the most effective control methods is vibration diagnostics. Its application makes it possible to carry out a wide range of statistical studies based on the analysis of periodic and quasi-periodic random processes, including spectral-correlation analysis of modulating stationary components that contain information about the nature of defects. Diagnostic indicators are formed using probability characteristics of the first and second orders, which allows for the detection of mechanism defects at early stages of their development.

**Key words:** vibration diagnostics, cable drum, vibration diagnostics methods, quay container crane, vibroactivity research, vibroactivity.

Дата надходження статті: 21.11.2025

Дата прийняття статті: 10.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025