

УДК 621.3

Ловейкін В.С., д.т.н.; Ромасевич Ю.О., д.т.н.; Крушельницький В.В.  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РУХУ МОСТОВОГО КРАНА

***Анотація.** В роботі проведено обґрунтування критеріїв вибору обладнання для експериментальних досліджень динаміки руху крана, а саме для визначення нерівномірності руху кінцевих балок, коливань вантажу на гнучкому підвісі, зусилля в мостовій балці. Наведено схему розташування датчиків. Крім того, дано рекомендації щодо вибору обладнання для реєстрації електричних сигналів отриманих з вимірювального обладнання. У подальшому отримані масиви даних будуть оброблені за допомогою методів статистичного аналізу.*

***Аннотация.** В работе проведено обоснование критериев выбора оборудования для экспериментальных исследований динамики движения крана, а именно для определения неравномерности движения концевых балок, колебаний груза на гибком подвесе, усилия в мостовой балке. Приведена схема расположения датчиков. Кроме того, даны рекомендации по выбору оборудования для регистрации электрических сигналов, полученных из измерительного оборудования. В дальнейшем полученные массивы данных будут обработаны с помощью методов статистического анализа.*

***Abstract.** In der Arbeit ist die Begründung der Kriterien der Auswahl der Ausrüstung für die experimentalen Forschungen der Dynamik der Bewegung des Kranes, und zwar für die Bestimmung der Ungleichmäßigkeit der Bewegung der Endbalken, der Schwingungen der Ladung auf flexibel Aufhängung, der Bemühung im Pflaster dem Balken durchgeführt.. Es ist das Schema der Anordnung der Sensoren gebracht. Außerdem sind die Empfehlungen nach Wahl der Ausrüstung für die Registrierung der elektrischen Signale, die aus der Messausrüstung bekommen sind gegeben. Im Folgenden werden die bekommenen Datenfelder mit Hilfe der Methoden der statistischen Analyse bearbeitet sein.*

**Постановка проблеми.** Для експериментальних досліджень динамічних процесів, що відбуваються під час руху мостового крану за оптимальними законами руху [1] необхідно використовувати спеціальне вимірювально-реєструюче обладнання. Сучасний ринок промислової електроніки є досить насиченим, тому для досліджень необхідно вибрати таке обладнання, яке б забезпечило високу точність отриманих результатів для подальшої обробки та аналізу.

**Аналіз останніх публікацій.** Достатньо велика кількість науковців займалися експериментальними дослідженнями динаміки руху мостових кранів. В Українській інженерно-педагогічній академії [2] досліджували вібрації в механізмі переміщення мостового крана за допомогою вібродатчика Д14, підсилювача сигналу та аналого-цифрового перетворювача. В Томському політехнічному університеті [3] визначали масу вантажу за рахунок моніторингу електричних параметрів електропривода механізму підйому вантажу. В Московському державному технічному університеті ім. М. Е. Баумана [4] досліджували динамічні навантаження на мостовий кран, обладнаний обмежувачем вантажопідйомності на основі тензометричного датчика. Результати досліджень показали, що при застосуванні обмежувача, динамічні навантаження на кран зменшуються на 18-20% (при підйманні вантажу). Автори роботи [5] досліджували зменшення витрат енергії при застосуванні частотно-регульованого приводу на стенді механізму пересування візка мостового крана за допомогою аналізатора мережі Diris A40 (який здійснював глибокий аналіз окремих гармонік струму і розраховував їхнє дійсне середньоквадратичне значення), модуля аналогових виходів, три фазного лічильника потужності, трансформатора струму та вольтметра. Встановлено, що частотно-регульований привід може споживати енергії в 1,25-1,9 разів менше ніж асинхронний з фазним ротором в залежності від тривалості рівномірного ходу. В Сілезькому технологічному університеті [6] досліджували вібрації мостового крану за допомогою бездротової вимірювальної системи в якій використали датчики Phidget 1056 і аналогово-цифровий перетворювач  $\mu$ DAQ-lite. Разом з тим, не в повній мірі приділяється увазі обґрунтування вибору вимірювального обладнання для визначення нерівномірності руху кінцевих балок, коливань вантажу на гнучкому підвісі, навантажень в мостовій балці, а також обладнанню для реєстрації електричних сигналів отриманих з вимірювального обладнання.

**Мета роботи.** Метою роботи є обґрунтування вибору вимірювального обладнання, для визначення нерівномірності руху кінцевих балок, коливань вантажу на гнучкому підвісі, зусилля в мостовій балці та обладнання для реєстрації електричних сигналів отриманих з вимірювального обладнання для подальшої обробки та аналізу динаміки руху мостового крана за оптимальними законами руху [1].

**Результати досліджень.** Для вимірювання нерівномірності руху кінцевих балок крана необхідно використати оптичні інкрементальні енкодери із мірним колесом та комплементарним виходом Autonics ENC-1-1-t-24 (рис. 1). Вони закріплюються безпосередньо на кінцевих балках крану (рис. 2), а їхні мірні колеса

прижимаються за допомогою пружного елемента до підкранового шляху. Основні його технічні характеристики [7] наведені у таблиці 1.



Рисунок 1 - Енкодер з мірним колесом Autonics ENC-1-1-t-24

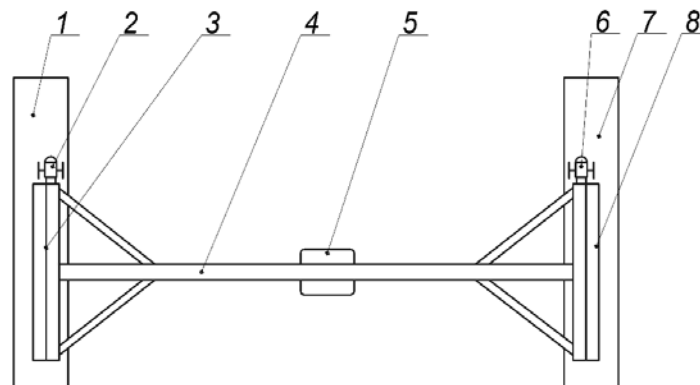


Рисунок 2 – Схема розташування лінійних енкодерів для вимірювання нерівномірності руху кінцевих балок мостового крана:  
1,7 – підкрановий шлях; 2, 6 – енкодери, прикріплені до кінцевих балок; 3,8 – кінцеві балки; 4 – мостова балка крана; 5 – електроталь.

Таблиця 1

| Параметр   | Значення      |
|--|---------------|
| Напруга живлення, В                                  | 24            |
| Споживана сила струму, А                             | 0,06          |
| Максимальна кількість обертів, об/хв                 | 5000          |
| Рівень захисту                                       | IP50          |
| Вихідні фази   | А, В          |
| Фазова різниця виходу                                | $T/4 \pm T/8$ |
| Кількість вихідних імпульсів при переміщенні на 1 мм | 1             |

Для вимірювання коливань вантажу необхідно використати енкодер – Megatron MOL40 6 3600 BZ N (рис. 3) [8], при одному оберті валу, з фаз А і В поступає 3600 імпульсів. Енкодер закріплюється на електроталі, а для передачі коливань вантажу використовується штанга, яка однією стороною через пружну муфту приєднана до валу енкодера, а іншою стороною кріпиться до вантажного канату. Основні характеристики енкодера наведені у таблиці 2, а схема розташування датчика зображена на рисунку 4.



Рисунок 3 - Інкrementальний енкодер з комплементарним виходом Megatron MOL40 6 3600 BZ N.

Таблиця 2

| Параметр                 | Значення              |
|--------------------------|-----------------------|
| Напруга живлення, В      | 5                     |
| Споживана сила струму, А | 0,05                  |
| Вихідні фази             | A, /A, B, /B, Z, /Z   |
| Фазова різниця виходу    | $T/4 \pm T/8 \pm T/2$ |
| Точність датчика, імп/об | 3600                  |

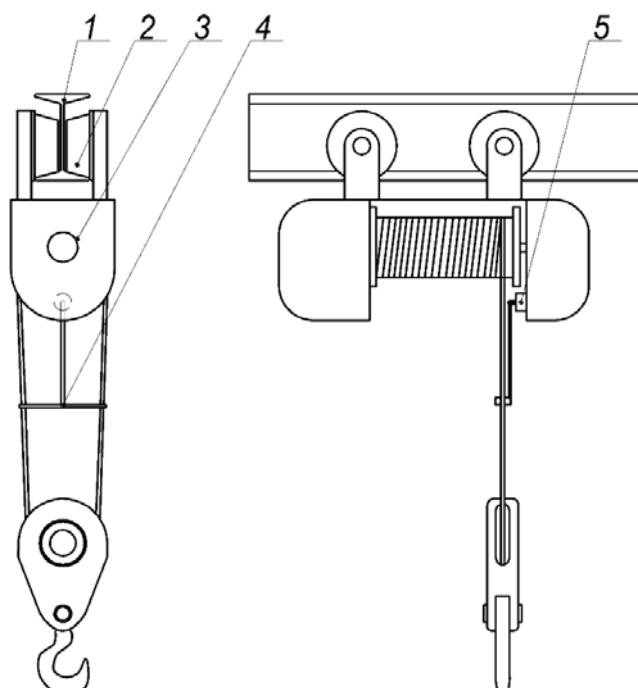


Рисунок 4 – Схема розташування інкrementального енкодера Megatron MOL40 6 3600 BZ N для реєстрації характеру зміни коливань вантажу під час переміщення крана: 1 – мостова балка крана; 2 – ходові колеса електроталі; 3 – електроталь; 4 – штанга для передачі коливань вантажу до валу енкодера; 5 – інкrementальний енкодер Megatron MOL40 6 3600 BZ N

Для вимірювання зусилля що діє на мостову балку у горизонтальній площині необхідно використати чотири тензорезистори КФП-50-200-Б-12 виробника VEDA (рис. 5). Основні характеристики цих датчиків [9] наведені у таблиці 3. Вони безпосередньо приклеюються до балки крана за допомогою однокомпонентного клею холодного затвердіння – «Циакрін» ТУ 6-09-30-86, який рекомендує використовувати виробник тензорезисторів. Схема розташування тензорезисторів на мостовій балці зображена на рисунку 6.

Таблиця 3

| Параметр  | Значення       |
|---|----------------|
| Номінальний електричний опір, Ом                    | 200            |
| Допустиме відносне відхилення електричного опору, % | 1              |
| Робоча область значень температури, °С              | від -70 до 200 |
| Інтервал термокомпенсації, °С                       | від 0 до 50    |
| Середнє значення чутливості                         | 2,21           |
| Середньоквадратичне відхилення чутливості           | 0,008          |

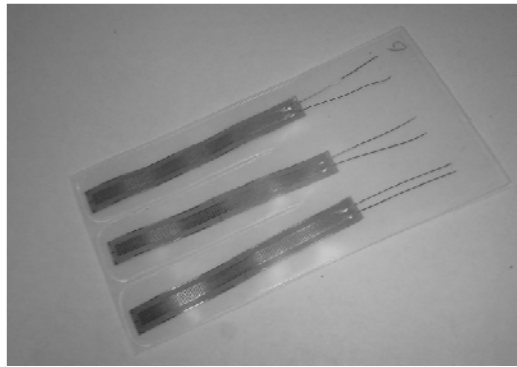


Рисунок 5 - Тензорезистори фірми VEDA КФП-50-200-Б-12

Перед приклеюванням тензорезисторів [10,11] необхідно підготувати місце на мостовій балці, де вони будуть. Якщо поверхня забруднена воском, оливою чи подібними речовинами, то її слід промити толуолом, або іншим розчинником. Далі поверхня приклеювання послідовно промивається ацетоном та спиртом. Поверхня має просохнути 10 – 15 хвилин. Недопустимо доторкатися пальцями поверхні. Крім того забороняється попадання пилу і ворсу до поверхні на яку буде наноситись клей. Щоб приклеїти тензорезистор слід його розмістити на підготовленому місці: протилежну сторону від виводів тензорезисторів потрібно приклеїти липкою стрічкою до поверхні балки. Після цього наноситься клей на поверхню балки, потім тензорезистор прижмається до поверхні балки крана, накривається фторопластовою плівкою та прижмається. Прижи слід витримати

близько одної хвилини, потім зняти плівку. Повна полімеризація клею проходить протягом 24 годин.

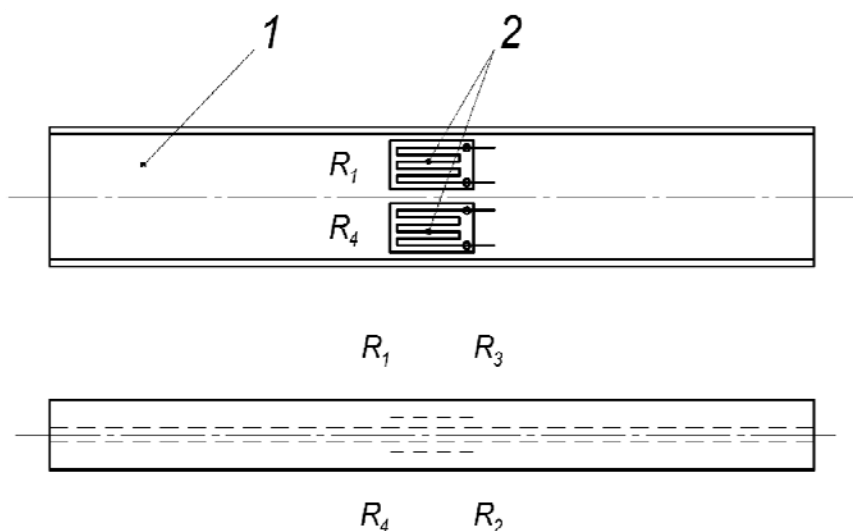


Рисунок 6 – Схема розташування тензорезисторів на мостовій балці крана: 1 – мостова балка; 2 – тензорезистори.

Для забезпечення живлення датчиків необхідно використовувати стабілізований блок живлення з малим рівнем пульсацій. Ці вимоги задовольняє пристрій Hyelec HUA YI ELECTRONICS DC POWER SUPPLY HY3003M-3 (рис. 7), його технічні характеристики [11] наведені у таблиці 4.



Рисунок 7 – Стабілізований блок живлення Hyelec HUA YI ELECTRONICS DC POWER SUPPLY HY3003M-3

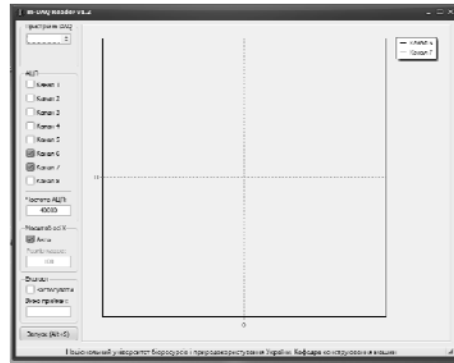
Таблиця 4

| Параметр  | Значення    |
|---|-------------|
| Напруга живлення, В                                 | 220 ±10%    |
| Вихідна напруга, В<br>- канал 1, 2<br>- канал 3     | 0 – 30<br>5 |
| Вихідна сила струму, А<br>- канал 1, 2<br>- канал 3 | 0 – 3<br>3  |
| Рівень пульсацій, мВ                                | < 1         |

В якості реєструючого обладнання використовується аналого-цифровий перетворювач m-DAQ 14 (рис. 8,а) та комп'ютер з встановленим програмним забезпеченням (рис. 8,б). Пристрій m-DAQ14 підключається через USB порт до комп'ютера, на якому встановлене програмне забезпечення (рис. 8,б), що забезпечує реєстрацію даних, які поступають з датчиків у вигляді аналогових електричних сигналів і зберігаються у вигляді масиву значень напруги у файл формату \*.txt. Технічні характеристики перетворювача [13] наведені у таблиці 5.



а



б

Рисунок 8 – Система збору даних: а) аналого-цифровий перетворювач m-DAQ 14 б) програмне забезпечення для аналого-цифрового перетворювача

Таблиця 5

| Параметр                       | Значення  |
|--------------------------------|---|
| Живлення                       | від шини USB 2.0  |
| Споживана сила струму, А       | 0,25  |
| Робоча температура, С°         | 5 – 40  |
| Кількість аналогових входів    | 4 диференціальних або 8 однопровідних каналів із загальною «землею» |
| Вхідний діапазон напруг, В     | ±10; ±5; ±2,5; ±1,25;   |
| Розрядність перетворювача, біт | 14  |
| Частота дискретизації, Гц:     |   |
| - багатоканальний режим        | 65 – 100000   |
| - одно каналний режим          | 65 – 150000   |

**Висновки.** Вибране вимірювально-реєструюче обладнання дає змогу провести експериментальні дослідження динаміки руху крана при роботі двигуна на природній механічній характеристиці та з реалізацією оптимальних законів руху крана і виміряти параметри: коливання вантажу, лінійне переміщення кінцевих балок, швидкість моста крана, зусилля у мостовій балці та зберегти отримані масиви даних для їх подальшого статистичного аналізу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Ловейкін В.С. Вплив оптимізаційних критеріїв на динаміку руху мостового крана / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, В.В. Крушельницький // Збірник тез доповідей XVI міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (17-19 жовтня 2015 року) присвячену 115-річчю з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка. К. – 2015.
2. Чернишенко О. В. К вопросу о диагностике низкооборотных подшипников качения в брусках механизма передвижения мостового крана / О. В. Чернишенко // Машинобудування. - 2014. - № 13. - С. 46-54.
3. Орлов Ю.А. Защита грузоподъемного крана на основе мониторинга параметров электропривода механизма подъема / Ю.А. Орлов, Ю.Н. Дементьев, Г.И. Однокопылов, Д.Ю. Орлов, И.Г. Однокопылов, Д.П. Столяров // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2008. – Т. 312. № 4. С. 119-124.
4. Иванов С.Д. Экспериментальное исследование динамических нагрузок на мостовой кран, оборудованный ограничителем грузоподъемности // Механизация строительства. - 2015. - № 6. - с. 54-56.
5. Григоров О. В. Оцінка зменшення витрат енергії при застосуванні частотно-регульованого приводу / О. В. Григоров, В. В. Стрижак, Д. М. Зюбанова // Підйомно-транспортна техніка. - 2014. - № 3. - С. 4-14.
6. Tomasz Haniszewski Overhead traveling crane vibration research using experimental wireless measuring system / Tomasz Haniszewski, Damian Gaška // Transport Problems. – Gliwice, 2013. – Volume 8. Issue 1.P.57 - 66.
7. ENC Series [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <http://z.compel.ru/item-pdf/57ee24ba21c4decd8a32b450d79d4e4e/pf/autonics~enc.pdf> – Title from the screen.
8. Optoelektronische Impulsgeber Serie MOL40. [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: [http://www.ls.eso.org/lasilla/support/electronics/Documentation/PDF/DB\\_MOL40.pdf](http://www.ls.eso.org/lasilla/support/electronics/Documentation/PDF/DB_MOL40.pdf) – Title from the screen.



- 
9. Тензорезисторы КФ4 и КФ5. Паспорт. АЖВ2.782.001 ПС. ООО «ВЕДА»
  10. Тензорезисторы КФ4 и КФ5. Техническое описание и инструкция по наклейке. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: [http://www.1551a3.ru/datafiles/kf4\\_kf5.pdf](http://www.1551a3.ru/datafiles/kf4_kf5.pdf) – Назва з екрана.
  11. Мастер класс по поклейке тензорезисторов 'Веда'. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.youtube.com/watch?v=L-m89dwVPY4> – Назва з екрана.
  12. HY Series Power Supply Units. [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <http://www.farnell.com/datasheets/12168.pdf> – Title from the screen.
  13. Руководство пользователя V1.4 m-DAQ12 m-DAQ14 микросистема сбора данных с интерфейсом USB. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://holit.ua/download/common/docs/hds/m-DAQ.pdf>