**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РУХУ МОСТОВОГО КРАНА**

**ЗА ОПТИМАЛЬНИМИ ЗАКОНАМИ**

**©Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О.**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Інформація про авторів:**

**Ловейкін Вячеслав Сергійович:** ORCID: 0000-0003-4259-3900; vloveykin@mail.ru; доктор технічних наук; завідувач кафедри конструювання машин; Національний університет біоресурсів і природокористування України; навчальний корпус №11, вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна.

**Ромасевич Юрій Олександрович:** ORCID: 0000-0001-5069-5929; d.um@mail.ru; кандидат технічних наук; докторант кафедри конструювання машин; Національний університет біоресурсів і природокористування України; навчальний корпус №11, вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна.

Наведено результати аналізу експериментальних досліджень динаміки руху мостового крана із вантажем на гнучкому підвісі при некерованому режимі руху та за оптимальними діаграмами зміни швидкості.

Експериментальні дослідження проведені на основі використання частотного керування приводними двигунами механізму переміщення мостового крана вантажопідйомністю 3,2 т. Реалізація оптимальних законів руху крана із вантажем на гнучкому підвісі виконана за допомогою цифрової системи керування частотним перетворювачем, який виступав у ролі джерела живлення приводних двигунів мостового крана.

Проведено аналіз руху крана за кінематичними, енергетичними, динамічними та електричними показниками.

Встановлено, що реалізація оптимальних законів руху крана за допомогою частотно-керованого приводу дозволяє знизити коливання кранового моста, усунути коливання вантажу та підвищити енергоефективність роботи крана.

***Ключові слова:*** керування; кран; дослідження; експеримент; коливання.

***Ловейкин В. С., Ромасевич Ю. А.*** «Экспериментальные исследования динамики движения мостового крана по оптимальным законам».

Приведены результаты анализа экспериментальных исследований динамики движения мостового крана с грузом на гибком подвесе при неуправляемом режиме движения и по оптимальным диаграммам изменения скорости.

Экспериментальные исследования проведены на основе использования частотного управления приводными двигателями механизма перемещения мостового крана грузоподъемностью 3,2 т. Реализация оптимальных законов движения крана с грузом на гибком подвесе выполнена с помощью цифровой системы управления частотным преобразователем, который выступал в качестве источника питания приводных двигателей мостового крана.

Проведен анализ движения крана по кинематическим, энергетическими, динамическими и электрическими показателями.

Установлено, что реализация оптимальных законов движения крана с помощью частотно-управляемого привода позволяет снизить колебания кранового моста, устранить колебания груза и повысить энергоэффективность работы крана.

***Ключевые слова:*** управление; кран; исследования; эксперимент; колебания.

***Loveikin V., Romasevych Yu.*** “Experimental reaserches of bridge cranes movement dynamics for optimal laws”.

The result of analysis of experimental researches of the bridge cranes movement dynamics with a load on a flexible suspension has been stated. The two modes of cranes movement (uncontrolled and optimal) have been researched.

Experimental studies were carried out on the basis of the use of frequency control drive motors move the bridge crane mechanism. The load-carrying ability of crane is equal 3,2 tonne. Implementation of optimal laws of the crane with a load on flexible suspension carried out with a digital control system of inverter, which has acted as the power source of the drive motor bridge crane.

The motion analysis of crane has been carried out by kinematical, energetic, electric and dynamic indicators.

It has been stated that the crane optimal control by mean of drive frequency control allows decrease crane bridge fluctuations, remove the load fluctuations and increase energy efficiency crane.

***Keywords:*** control; crane; research; experiment; fluctuations.

**1. Постановка проблеми**

Підвищення продуктивності, надійності та енергоефективності вантажопідйомних кранів є актуальною науково-прикладною проблемою вирішення якої базується на вивченні процесів, що виникають у кранових механізмах. Аналіз складних енергетичних та динамічних явищ у кранових механізмах необхідно проводити опираючись на результати експериментальних досліджень. Це дає змогу вказати конкретні заходи для зменшення небажаних або збільшення бажаних показників роботи вантажопідйомної техніки, які, як правило, визначаються шляхом теоретичних розрахунків. Перевірка ефективності використання того чи іншого способу підвищення ефективності роботи вантажопідйомного крана вимагає проведення експериментальних досліджень. Таким чином, проблема покращення характеристик роботи кранових механізмів ґрунтується на концепції «експеримент – теорія – експеримент», яка дозволяє реалізувати оптимальні та практично перевірені способи підвищення ефективності експлуатації вантажопідйомних кранів.

**2. Аналіз останніх досліджень і публікацій**

У роботі Н. М. Фідровської та інших дослідників [1] наведено результати експериментальних досліджень напружень у стінці канатного барабану та встановлено, що вони менші, ніж розраховані теоретично. О. В. Григоровим та іншими авторами у роботі [2] наведено результати експериментальних досліджень, що проведені на стендовому обладнанні. В цій роботі встановлено, що найбільша перевага щодо витрат енергії проявляється при використанні частотно-регульованого приводу в механізмах, які працюють тривалий час в пуско-гальмівних режимах за різних значень усталених швидкостей і при незначному часі роботи у сталих режимах на номінальній швидкості. І. І. Ісьеміні та ряд інших дослідників в роботі [3] провів експериментальні дослідження осадки буферного пристрою при наїзді на нього кінцевої балки мостового крана. У роботі [4] наведено приведено методику експериментальних досліджень зміни вильоту баштового крана з шарнірно-зчленованою стріловою системою, а також обґрунтовано вибір вимірювально-реєструючого обладнання яке використовується в експериментальних дослідженнях. Таким чином, спектр досліджень, які присвячені вивченню динамічних явищ вантажопідйомних кранів, є достатньо широким. Однак, недослідженими залишаються задачі оцінки ефективності реалізації оптимальних законів руху механізмів вантажопідйомних кранів.

**3. Постановка мети дослідження**

Метою дослідження є встановлення ефективності реалізації оптимального керування рухом мостового крана з вантажем на гнучкому підвісі засобами асинхронного частотно-керованого електроприводу.

**4. Виклад основного матеріалу**

Об’єктом досліджень при проведенні експериментів був мостовий кран вантажопідйомністю 3,2 тони з прольотом балки 10,5 метрів. Потужність приводу механізму підйому вантажу рівна 5 кВт, а механізму переміщення крана 2х0,4 кВт. Під час проведення експериментів кран виконував горизонтальні переміщення вантажу масою 1490 кг. Дані, які отримані при проведенні експериментів для переміщення крана з вантажем на гнучкому підвісі, занесені у таблицю 1.

**Таблиця 1** – Значення показників для переміщення крана із вантажем на гнучкому підвісі

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показники | Висота підвісу  вантажу, м | |
| 3 | 5 |
| Максимальне прискорення моста крана, м/с2 | 4,0 | 4,1 |
| Середнє абсолютне прискорення моста крана, м/с2 | 0,479 | 0,498 |
| Максимальний кут відхилення канату з вантажем  від вертикалі під час руху крана, град | 3,8 | 3,7 |
| Максимальний кут відхилення канату з вантажем  від вертикалі після зупинки крана, град | 3,9 | 3,9 |
| Максимальний струм двигуна, А | 8,4 | 8,6 |

Наведемо графіки кінематичних функцій руху мостового крана із вантажем на гнучкому підвісі (рис. 1).

На рис. 1 а видно, що значні прискорення кранового моста виникають у режимі його розгону. Вони викликані динамічними зусиллями, які знижують довговічність кранової металоконструкції. Інтенсивні коливання кранового моста зберігаються також під час усталеного руху крана, що пов’язано з нерівністю підкранових шляхів. Зупинка крана призводить до затухання коливань в результаті дії дисипативних зусиль.

Графік кута відхилення канату з вантажем від вертикалі (рис. 1 б) показує, що вони виникають під час розгону крана і тривають протягом усталеного руху. При гальмуванні крана амплітуда коливань вантажу зростає, що викликано силою інерції, яка діє на вантаж. Затухання коливань після зупинки крана відбувається повільно (рис. 1 б).

|  |  |
| --- | --- |
|  | Новый рисунок |
| а) | б) |
| **Рис. 1** – Графіки кінематичних функцій руху крана із вантажем: а) прискорення кранового моста у середині його прольоту; б) кут відхилення канату з вантажем від вертикалі | |

Проведемо аналіз струмових навантажень приводу механізму переміщення крана для чого наведемо графік струму споживаного приводом механізму переміщення крана (рис. 2). З рис. 2 випливає, що електромагнітний перехідний процес у двигуні триває порівняно довго. При цьому у обмотках двигуна протікають значні струми, які викликають теплові втрати енергії та знижують енергоефективність крана.

|  |
| --- |
|  |
| **Рис. 2** – Графік струму споживаного двигуном  механізму переміщення крана |

Всі експериментальні дані, які отримані для експериментальних досліджень режимів руху крана при частотному керуванні приводом механізму переміщення крана із вантажем на гнучкому підвісі, наведено у таблиці 2. Верхнє значення показника у комірках таблиці 2 відповідає довжині гнучкого підвісу 3 м, а нижнє – 5 м.

Аналіз даних, які занесені у таблиці 2, показує, що при збільшенні тривалості наростання та спадання напруги живлення електроприводу крана знижується рівень коливань кранового моста. Показник максимального прискорення моста при переході на частотне керування приводом знизився на 26,5-72,3 %. Для оптимального закону максимальне прискорення моста додатково знижується на 22,7-55,8 %.

**Таблиця 2** – Значення показників для переміщення крана із вантажем на гнучкому підвісі при оптимальному законі розгоні/гальмування крана

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показники | Тривалість наростання та спадання напруги живлення двигуна, сек | |
| 3 | 5 |
| Максимальне прискорення моста крана, м/с2 | 2,6 | 3,3 |
| 3,0 | 2,8 |
| Середнє абсолютне прискорення моста крана, м/с2 | 0,360 | 0,310 |
| 0,344 | 0,319 |
| Максимальний кут відхилення канату з вантажем від вертикалі під час руху крана, град | 2,5 | 2,7 |
| 2,8 | 2,6 |
| Максимальний кут відхилення канату з вантажем від вертикалі після зупинки крана, град | 0,3 | 0,1 |
| 0,4 | 0,1 |
| Максимальний струм двигуна, А | 8,2 | 8,8 |
| 9,4 | 9,1 |

Із таблиці 2 випливає, що використання оптимальних законів руху крана дозволяє практично повністю усунути коливання вантажу на гнучкому підвісі у кінці перехідних режимів руху крана. На рис. 3 показано графік кута відхилення канату з вантажем від вертикалі при русі крана за оптимальним законом. З рис. 3 видно, що значне відхилення канату з вантажем від вертикалі присутнє лише при розгоні та гальмуванні крана. При заданій тривалості перехідних режимів руху крана 3 сек відбувається ефективне усунення коливань вантажу. За рахунок усунення коливань вантажу на гнучкому підвісі досягається висока продуктивність роботи крана.

З таблиці 2 випливає, що максимальні значення струмів при прямому пуску двигуна та при частотному керуванні практично однакові. Однак, тривалість протікання пускових струмів при частотному керуванні значно менша, що зумовлює зменшення шкідливих теплових втрат у двигуні механізму переміщення крана.

|  |
| --- |
|  |
| **Рис. 3** – Графік кута відхилення канату з вантажем  від вертикалі при русі крана за оптимальним законом |

Наростання струму при розгоні та гальмуванні електроприводу механізму переміщення крана відбувається повільно. Зміна параметра тривалості наростання та спадання частоти напруги живлення двигуна викликає зміну інтенсивності наростання струму двигуна. При цьому зменшення енергоспоживання механізму переміщення крана складає 28 %.

**Висновки**

Використання частотного керування електроприводом механізму переміщення крана при реалізації оптимальних законів руху крана дозволяє знизити коливальність кранового моста, практично усунути коливання вантажу, зменшити навантаженість електрообладнання крана та підвищити енергоефективність його роботи.

**Список використаних джерел:**

1. Фидровская Н. Н. Экспериментальная проверка напряжений в стенке канатного барабана / Н. Н. Фидровская, О. Н. Литвин, И. С. Варченко // Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.- пед.. акад. – Х., 2012. – Вип. 10. – С. 67–73.

2. Григоров О.В. Підвищення енергоефективності кранів шляхом застосування частотно-регульованого приводу / О. В. Григоров, В. В. Стрижак, Д. М. Зюбанова // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2014. – Вип. 148 (1). – С. 33–37.

3. Ісьєміні І. І. Проведення експериментальних досліджень пневмогідравлічних буферних пристроїв на мостовому крані 5т40 / І. І. Ісьєміні, В. М. Іванов, С. Л. Смоляков // Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.- пед. акад. – Х., 2013. – Вип. 12. – С. 13–21.

4. Ловейкін В. С. Експериментальне дослідження зміни вильоту баштового крана з шарнірно-зчленованою стріловою системою / В. С. Ловейкін, О. Г. Шевчук // Науковий вісник НУБіП України. Сер.: Техніка та енергетика АПК. – 2014. – Вип. 196. – С. 176–185.

**References**

1. Fidrovska, N, Litvin, O & Varchenko, I 2012, ‘Experimental exploration in the side of ropes drum’, *Mashynobuduvannia*, iss. 10, pp. 67-73.

2. Hryhorov, O, Stryzhak, V & Ziubanova, D 2014, ‘Energy efficiency improvement of cranes by the use of variablefrequency drive’, *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*, iss. 148(1), pp. 33-37.

3. Isyemini, I, Ivanov, V & Smoliakov, S 2013, ‘Experimentation of pneumohydraulic buffers at the overhead crane’, *Mashynobuduvannia*, iss. 12, pp. 13-21.

4. Loveikin, V & Shevchuk, O 2014, ‘Eksperymentalne doslidzhennia zminy vylotu bashtovoho krana z sharnirno-zchlenovanoiu strilovoiu systemoiu’, *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy. Seriia: Tekhnika ta enerhetyka APK*, iss. 196, pp. 176-185.

Стаття надійшла до редакції 29 квітня 2015 р.