

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РУХУ ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОЇ СТІЛОВОЇ СИСТЕМИ КРАНА

В.С. ЛОВЕЙКІН, доктор технічних наук, професор

Д.А. ПАЛАМАРЧУК, асистент

Наведено результати експериментального дослідження динаміки руху шарнірно-зчленованої врівноваженої стрілової системи крана при ручному керуванні електродвигуном механізму зміни вильоту. Під час досліджень, проведених на фізичній моделі визначено такі параметри: кути відхилення вантажного канату від вертикалі та нахилу стріли до горизонту, поздовжні зусилля у відтяжці та зубчастій рейці, частота обертання ротора електродвигуна.

Ключові слова: стрілова система, фізична модель, відтяжка, зубчаста рейка, зусилля, датчик

У роботах вітчизняних та іноземних вчених широко досліджено розгойдування вантажу, підвішеного на канаті при його переміщенні [1, 3, 4, 6]. Значна увага приділена негативному впливу розгойдування вантажу на загальне зниження ефективності різних типів кранів під час проведення вантажопідіймальних та перевантажувальних робіт. Зокрема, описується вплив розгойдування на збільшення тривалості робочого циклу крана, зниження його маневреності, погіршення умов праці кранівника та обслуговуючого персоналу, а також суттєве збільшення динамічних навантажень на ланки, механізми та кран у цілому [4, 5, 6]. Збільшення динамічних навантажень негативно впливає на ланки та кінематичні пари в кранах з підйомною стрілою і, зокрема, з шарнірно-зчленованою стріловою системою [2, 9, 10].

Метою дослідження було проаналізувати вплив розгойдування вантажу на збільшення динамічних навантажень на ланки стрілової системи і, зокрема, на механізм зміни вильоту.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проведені на фізичній моделі, яка в певному масштабі відтворює динамічні процеси руху стрілової системи порталного крана МАРК-40 [8]. Для відображення картини негативного впливу розгойдування вантажу на ланки стрілової системи і, зокрема, на механізм зміни вильоту, досліджувались такі параметри: кути нахилу стріли до горизонту і відхилення вантажного канату від вертикалі, внутрішні поздовжні зусилля у відтяжці та зубчастій рейці, частота обертання ротора електродвигуна.

Дослідження проведені за умов ручного керування електродвигуном механізму зміни вильоту при горизонтальному переміщенні вантажу масою 16 кг, який відповідає середній вантажопідймальності 19,2 т для крана МАРК-40 [8].

Вимірювання вказаних параметрів проведено за допомогою вимірювального комплексу, який складається з: потенціометричного датчика кута нахилу стріли, індуктивного датчика кута відхилення вантажного канату ДСД-523, тензорезисторного датчика відтяжки, тензорезисторного датчика зубчастої рейки та датчика частоти обертання ротора електродвигуна ДЧВ-1; аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) Spider-8 та персонального комп'ютера з програмою Catman Express 4.5 [7]. Аналогові показники з датчиків передаються на АЦП, який перетворює їх в пакети цифрової інформації і передає на комп'ютер для подальшої обробки.

Кут α є кутовою координатою стріли, і показує її нахил до горизонту. Дослідження цього кута потрібне для фіксування положення стріли та всіх ланок стрілової системи в кожен момент часу. На рис. 1 наведено графік зміни кута нахилу стріли до горизонту α відносно реального часу, при зміні вильоту від мінімального до максимального значення.



Рис. 1. Графік зміни кутової координати стріли

Побудовано графік зміни кута відхилення вантажного канату від вертикалі ψ . Але, оскільки, в експерименті був визначений кут відхилення канату від хобота γ (рис. 2), то кут відхилення вантажного канату від вертикалі ψ визначається аналітично, з урахуванням геометричних особливостей стрілової системи [6].

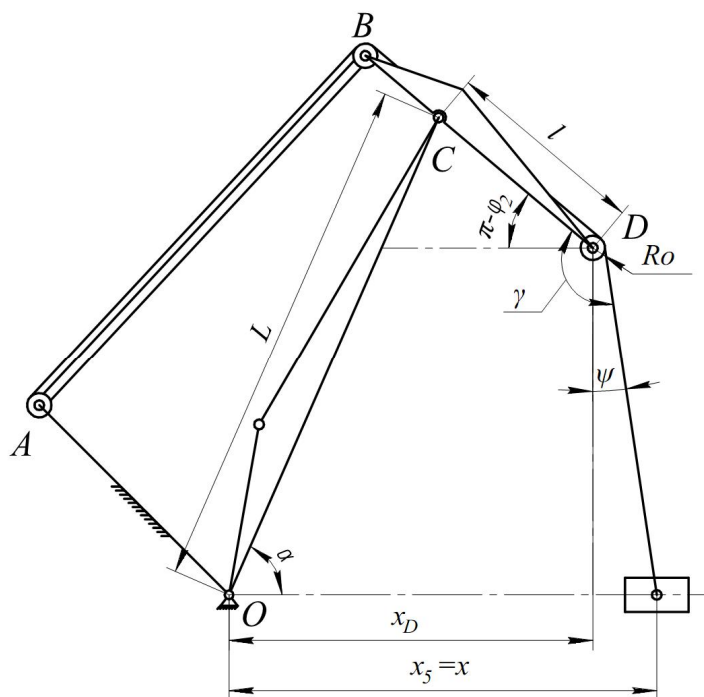


Рис. 2. Схема до визначення кута відхилення вантажного канату від вертикалі
Кут нахилу хобота до горизонту визначається за виразом:

$$\pi - \varphi_2 = \arcsin\left(\frac{L \sin \alpha - H}{l}\right), \quad (1)$$

де L – довжина стріли, м; l – довжина хобота, м; H – довжина підвісу вантажу, м.

Із урахуванням залежності (1) вираз для визначення кута відхилення вантажного каната від вертикалі набуде вигляду:

$$\psi = \gamma - (\pi - \varphi_2) - 90^\circ \neq -\arcsin\left(\frac{L \sin \alpha - H}{l}\right) - 90^\circ. \quad (2)$$

На основі виразу (2) та зібраного масиву даних кута γ побудовано графік часової зміни кута ψ (рис. 3).

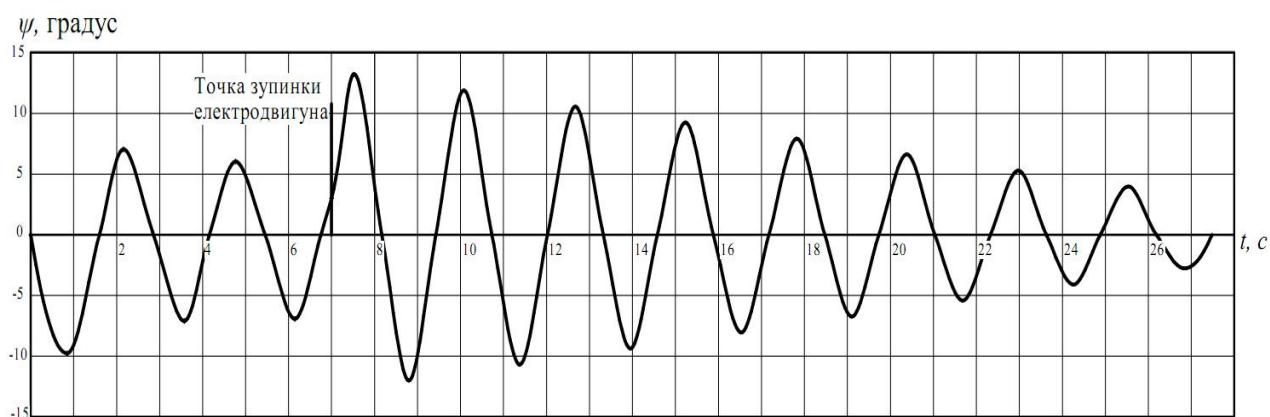


Рис. 3. Графік зміни кута відхилення вантажного каната

Аналіз одержаного графіка показав, що найбільший кут відхилення вантажного каната $12,6^\circ$ виникає після зупинки електродвигуна, а відповідно і стрілової системи тоді, як вантаж за інерцією продовжує рухатися. Крім того, процес згасання коливань після зупинки електродвигуна втричі перевищує час руху стрілової системи від мінімального значення вильоту до максимального і становить 21 с.

Для дослідження горизонтальної координати вантажу запропоновано вираз, який поєднує в собі кутову координату стріли та кут відхилення вантажного канату від вертикалі за допомогою кінематичних співвідношень ланок стрілової системи крана (рис. 2):

$$x_5 = L \cos \alpha - l \cos \varphi_2 + H \sin \psi + R_0, \quad (3)$$

де φ_2 – кутова координата хобота, $R_0=0,5\text{м}$ – радіус кінцевого обвідного блока хобота (рис. 2).

На основі наведеної залежності побудовано графік зміни горизонтальної координати вантажу x_5 від часу при ручному керуванні електродвигуном механізму зміни вильоту стрілової системи (рис. 4).

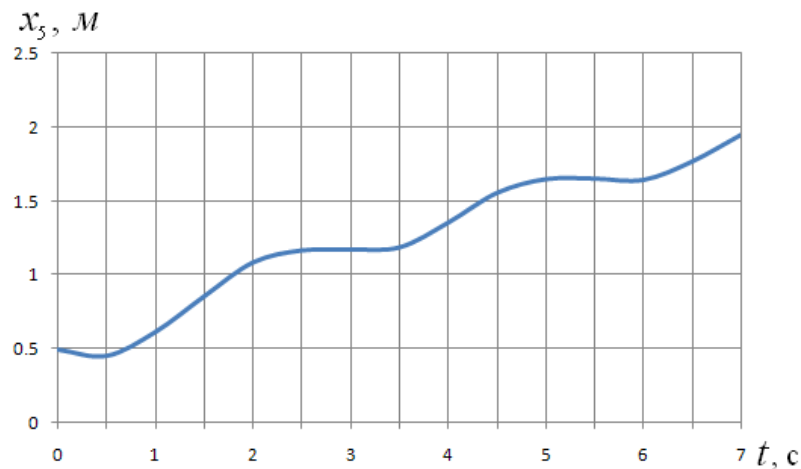


Рис. 4. Графік зміни горизонтальної координати вантажу

Для встановлення впливу розгойдування вантажу на привод механізму зміни вильоту і, зокрема, на електродвигун, побудовано графік зміни частоти обертання ротора електродвигуна n у процесі зміни вильоту стрілової системи. Для цього використано масив даних, отриманий за допомогою датчика частоти обертання ДЧВ-1, та залежність, яка дозволяє визначати частоту обертання ротора електродвигуна в кожний момент часу з урахуванням особливостей АЦП та самого датчика:

$$n = \frac{60\nu}{Kz}, \quad (4)$$

де ν – частота проходження зубців зірочки ротора повз датчик, c^{-1} (значення беруться з масиву даних датчика ДЧВ-1); $z=28$ – кількість зубців зірочки ротора; $K=50c^{-1}$ – частота опитувань датчика.

На основі залежності (4), побудовано графік зміни частоти обертання ротора електродвигуна механізму зміни вильоту при русі стрілової системи від мінімального вильоту до максимального (рис. 5). При аналізі графіка встановлено, що час розгону t_p дорівнює $3,37c$, а час гальмування t_r дорівнює $0,37c$.

Для аналізу впливу розгойдування вантажу на ланки стрілової системи, побудовано графіки зміни внутрішніх навантажень у відтяжці та зубчастій «Наукові доповіді НУБіП» 2013-1 (37) http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/Nd/2013_1/13pda.pdf

рейці. Вибір саме цих ланок для дослідження внутрішніх зусиль зумовлений тим, що ці ланки або ж їх вузли найчастіше виходять з ладу [3, 4, 9].



Рис. 5. Графік зміни частоти обертання ротора електродвигуна

Для побудови графіка зміни внутрішніх зусиль в зубчастій рейці використано масив даних, отриманих за допомогою тензорезисторів зубчастої рейки. Оскільки, тензорезистори змінюють лише значення напруги в електричному колі вимірювального каналу АЦП, то для перетворення отриманих показників у значення зусилля використовують тарувальні дані [7]. При обробці цього масиву даних потрібно враховувати те, що тарування проводилося в системі «напруга – маса».

Тому, для дослідження внутрішніх зусиль потрібно перейти від маси до сили, використовуючи поняття сили:

$$G = mg, \quad (5)$$

де m – маса тарувального тягарця із графіка тарування, кг [7]; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

На основі одержаних даних побудовано графіки зміни зусилля у зубчастій рейці під час зміни вильоту стрілової системи від мінімального до максимального значення протягом всього часу роботи механізму (рис. 6). На цих графіках встановлено екстремальні значення зусилля на початку та в кінці роботи механізму. Виникнення екстремуму 1 пояснюється ударом зубчастого колеса в зубці рейки та ударом самої рейки об стрілу в шарнірі. Ці удари виникають на початку руху механізму, а саме при зрушенні рейки з місця.

Виникнення екстремуму 2 пояснюється її миттєвим розтягом, який виникає в кінці зміни вильоту тоді, як електродвигун та увесь механізм зупинилися, а стрілова система разом з вантажем продовжують рухатися за інерцією. Крім того, розтягу рейки в цій точці сприяє початок розгойдування вантажу в напрямі руху стрілової системи (рис. 3).

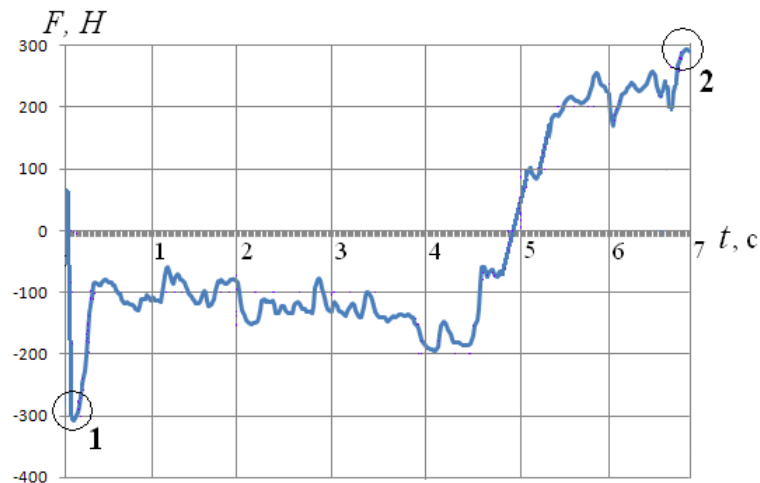


Рис. 6. Графік зміни внутрішнього зусилля в зубчастій рейці

Для побудови графіка зміни внутрішніх зусиль у відтяжці використано масив даних, одержаних за допомогою тензорезисторів, встановлених на ній. Для перетворення масиву даних, отриманих з АЦП у значення зусилля, використовують тарувальні дані [7]. Перехід від маси до зусилля, як і у випадку зубчастої рейки, здійснюється за формулою (5).

На основі одержаних даних, побудовано графік зміни повздовжнього зусилля у відтяжці, під час зміни вильоту стрілової системи від мінімального значення до максимального протягом всього часу роботи механізму (рис. 7).

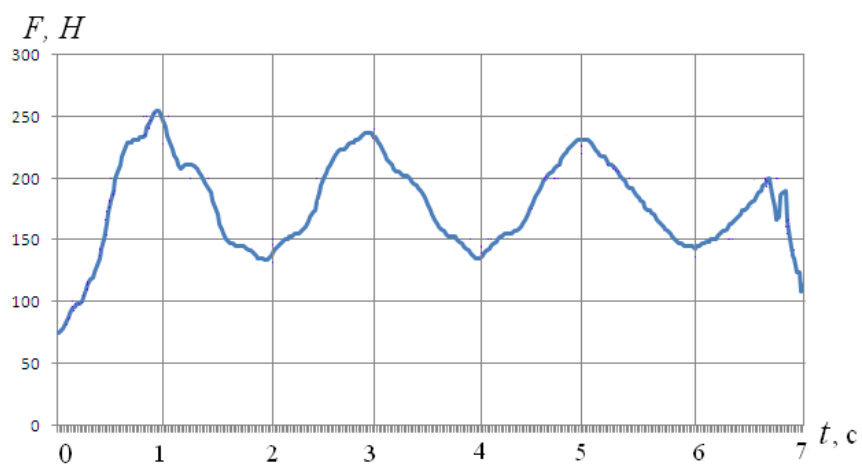


Рис. 7. Графік зміни внутрішнього зусилля у відтяжці

Висновки

Графічні залежності, побудовані за результатами експериментальних досліджень, наочно підтверджують збільшення динамічних навантажень на ланки стрілової системи в результаті коливань вантажу. Аналіз зусилля в зубчастій рейці показав, що воно змінюється від $-303,34\text{ Н}$ – на початку руху до $291,82\text{ Н}$ – вкінці, що значно перевищує середні значення зусилля. Крім того, спостерігається значне збільшення знакозмінних навантажень у відтяжці та зубчастій рейці, які призводять до нерівномірної роботи електродвигуна. Це спричиняє, значну тривалість розгону двигуна до номінальної швидкості.

Список літератури

1. Kalweit C. Mehr als ein Ersatz für den Neckar hafen / Christian Kalweit // Hebezeuge Fördermittel. – 2007. – №5. – ss. 254–255.
2. Бортяков Д.Е. Моделирование эксплуатационной нагруженности элементов порталных кранов / Д.Е. Бортяков, А.В. Некрасова, С.А. Соколов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2008. – №60. – С. 203–211.
3. Григорьев Н.И. Отклонение груза при работе порталных кранов / Н.И. Григорьев, С.И. Медведин // Речной транспорт. – 1961. – №5. С. 16–17.
4. Зосимов Е.А. Об особенностях эксплуатации порталных кранов / Е.А. Зосимов // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – №1. – С. 31–32.
5. Ким Ен Чер Те Гынович Динамические нагрузки порталных кранов при работе механизма изменения вылета и сейсмических воздействиях : автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.04 «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины» / Ким Ен Чер Те Гынович. – Санкт-Петербург, 2004. – 18 с.

6. Ловейкин В.С. Динамический анализ стреловых систем кранов с горизонтальным перемещением груза при изменении вылета: дис. кандидата тех. наук : 05.05.05 / Ловейкин Вячеслав Сергеевич. – К., 1982. – 268 с.

7. Ловейкін В.С. Експериментальне дослідження руху шарнірно-зчленованої стрілової системи крана при зміні вильоту вантажу / В.С. Ловейкін, Д.А. Паламарчук, В.В. Іщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2011. – №77. С. 38–43.

8. Ловейкін В.С. Створення фізичної моделі шарнірно-зчленованої стрілової системи крана / В.С. Ловейкін, Д.А. Паламарчук, І.А. Паламарчук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2010. – №75. С. 25–32.

9. Розовский Н.Я. Обеспечение безопасной эксплуатации порталных кранов, отработавших нормативный срок службы / Н.Я. Розовский // Тяжелое машиностроение. – 2006. – №1. – С. 28–30.

10. Терехов А.М. Устройство для успокоения раскачивания груза на портовых порталных кранах: дис. кандидата тех. наук: 05.22.19 / Терехов Андрей Михайлович. – М., 2003. – 155 с.

Экспериментальное исследование динамики движения шарнирно-сочлененной стреловой системы крана

В.С. Ловейкин, Д.А. Паламарчук

Представлены результаты экспериментального исследования динамики движения шарнирно-сочлененной уравновешенной стреловой системы крана при ручном управлении электродвигателем механизма изменения вылета. Во время исследований, которые проводились на физической модели, были определены следующие параметры: угол отклонения грузового каната от вертикали, угол наклона стрелы к горизонту, продольное усилие в оттяжке и зубчатой рейке, частота вращения ротора электродвигателя.

Ключевые слова: *стреловая система, физическая модель, оттяжка, зубчатая рейка, усилия, датчик.*

Experimental study dynamics of hinge-jointed jib crane system

V. Loveykin, D. Palamarchuk

The results of an experimental study of the dynamics of motion hinge-articulated a balanced jib crane system with manual control motor change mechanism departure. During research conducted on physical models were identified parameters: angle from the vertical load rope, boom angle to the horizontal, longitudinal efforts outhaul and dentate rail, rotor speed electric motor.

Key words: *jib system, physical model, outhaul, rack, force, sensor.*

