

2. *Application of Random Forest Algorithm in Machine Fault Diagnosis* / http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-84628-814-2_82.html.
3. *Fault diagnostics in LOGSET forest machines Development of improved fault diagnostics in the TOC control system of LOGSET harvesters and forwarders* / https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61034/Ronkko_Ville.pdf?sequence=1.
4. *TimberCare Service Agreement* / https://www.deere.co.uk/en_GB/services_and_support/forestry_service/timbercare/timbercare.page.
5. *ISO 11783-12:2014. Tractors and machinery for agriculture and forestry : Serial control and communications data network : Part 12: Diagnostics services* / http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=59381.

В статті розглянуті особливості аналітичних підходів до системності відновлення трудоспособності машин для лесотехнічних робіт.

Відновлення, трудоспособність, лісна машина.

In paper the considered features of analytical approaches to systemacity of restoration of working capacity of mashines for forestry works.

Restoration, working capacity, forest mashine.

УДК 621.873

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ МОСТОВОГО КРАНУ

***В.П. Лисенко, В.С. Ловейкін, доктори технічних наук
В.В. Крушельницький, аспірант ****

У роботі проведений динамічний аналіз руху мостового крану з урахуванням механічної характеристики приводного двигуна механізму горизонтального переміщення. Поставлене завдання вирішене за допомогою чисельного інтегрування диференціальних рівнянь руху мостового крана. Результати роботи проілюстровані графіками, що характеризують перехідний процес розгону мостового крана.

Кран, візок, динамічні навантаження, динамічна модель, математична модель, приведена маса, балка крана, оптимізація.

Постановка проблеми. При роботі металоконструкції мостового крана піддаються значним динамічним навантаженням.

***Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін**

© В.П. Лисенко, В.С. Ловейкін, В.В. Крушельницький, 2015

На різних етапах руху відбувається коливання моста крана, кінцевих балок, вантажу та інших вузлів і їх елементів, що входять до механічної системи. Слід відмітити перехідний процес розгону механізму переміщення моста. Цей процес супроводжується найбільшими значеннями динамічних навантажень, що на пряму впливає на швидкість виконаної операції, додаткової витрати електроенергії, надійності крана та у разі виникнення несправності призводить до додаткових матеріальних витрат на ремонт. Тому для подальших досліджень цих негативних факторів необхідно провести динамічний аналіз руху механічної системи.

Аналіз останніх досліджень. Автори роботи [1] досліджували поперечні коливання моста при його переміщенні з різними положеннями візка. Тут використана тримасова динамічна модель, для якої проілюстровані графіки перехідних процесів руху механічної системи. Також автори цієї роботи запропонували модальний регулятор [2], що дозволяє гасити пружні коливання як у лінійній моделі, так і в моделі з розподіленими параметрами. Для подальших досліджень використовувалася двомасова динамічна модель, в якій було прийнято, що візок нерухомо закріплений в середині балки. Спрощена модель дає змогу синтезувати регулятор стану для ефективного гасіння коливань конструкції моста в напрямку його руху. В роботі [3] досліджували коливання балки мостового крана. На основі рівняння Лагранжа другого роду побудована математична модель коливань балки зі змінною масою і навантаженням. Результатом є графіки зміни прогину балки в певні моменти часу.

Рівняння розв'язані чисельним методом. Автори роботи [4] запропонували математичну модель для дослідження параметрів коливань прогонових балок для різних положень візка та для ділянок прогонової балки по довжині прогону. При дослідженні враховано ударний імпульс.

В роботі [5] використовувалася тримасова динамічна модель, в якій прийняті припущення, що гнучка підвіска вантажу замінена пружним зв'язком з умовною горизонтальною жорсткістю та не враховано зазори в приводі. Сила опору пересуванню крана прийнята постійною, з'єднання головних і кінцевих балок розглядається як шарнірне, рушійне зусилля привода прийняте постійним та відсутнє буксування коліс. Розрахунок процесу розгону крана проводився чисельним методом Рунге-Кутта.

Мета досліджень полягає у проведенні динамічного аналізу руху мостового крана з урахуванням механічної характеристики електродвигуна механізму горизонтального переміщення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: побудувати динамічну та математичну моделі, що описують

рух мостового крана; отримати залежності, що характеризують перехідний процес пуску крана; проаналізувати отримані результати;

Результати досліджень. Для проведення дослідження використано чотиримасову динамічну модель мостового крана (рис. 1):

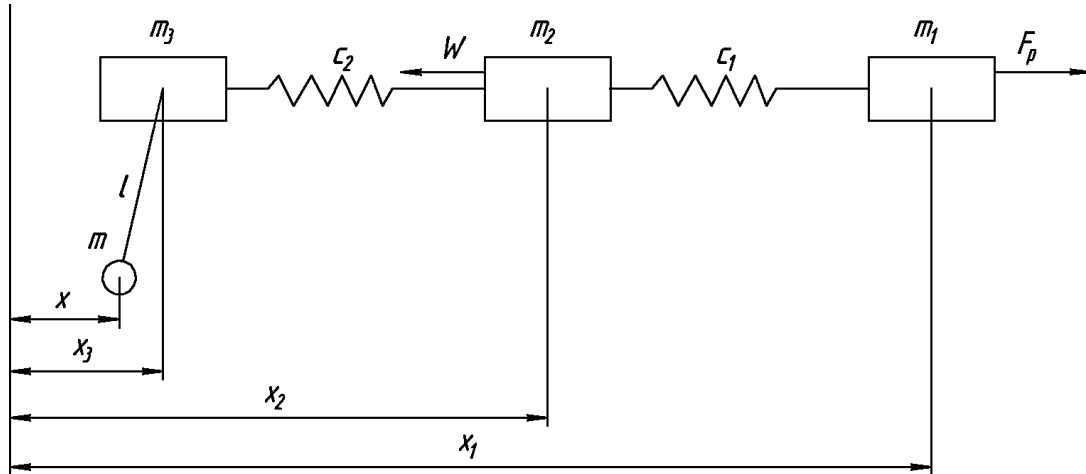


Рис. 1. Чотиримасова динамічна модель мостового крана.

На рис. 1 зображено приведені маси m , m_1 , m_2 , m_3 відповідно вантажу, привода, кінцевих балок та балки з крановим візком. Маса приводу з'єднана з приведеною масою кінцевих балок пружним елементом з жорсткістю c_1 . До маси приводу прикладене рушійне зусилля F_p . Маса кінцевих балок з'єднана з приведеною масою балки і крановим візком пружним елементом з жорсткістю c_2 . До маси кінцевих балок прикладена сила опору переміщення балки крана W . Приведена маса балки крана з візком з'єднана з вантажем гнучким елементом з довжиною l . В цій моделі x , x_1 , x_2 , x_3 узагальнені координати приведених мас вантажу, привода, кінцевих балок і балки з крановим візком відповідно.

Динамічна модель (рис. 1) описується наступною системою диференціальних рівнянь руху (крапка над символом означає диференціювання за часом):

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + c_1(x_1 - x_2) = F; \\ m_2 \ddot{x}_2 - c_1(x_1 - x_2) + c_2(x_2 - x_3) = -W \\ m_3 \ddot{x}_3 - c_2(x_2 - x_3) + \frac{mg}{l}(x_3 - x) = 0; \\ \ddot{x} - \frac{g}{l}(x_3 - x) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Опір коченню ходового колеса по рельсу визначається за наступною формулою [6]:

$$W = k_p (m_1 + m_2) \left(f \frac{d}{2} + \mu \right) \frac{2}{D_k}, \quad (2)$$

де: m_1 – маса кінцевих балок з приводом; m_2 – маса балки крана і електроталі; f – коефіцієнт тертя в опорі ходового колеса; d – діаметр цапфи валу (осі) колеса; D_k – діаметр ходового колеса; μ – коефіцієнт тертя кочення; k_p – коефіцієнт додаткових опорів (визначається тертям реборд о головку рельсу і тертям елементів токоз'ємного пристрою).

Рушійна сила приведена до ходових коліс і розраховується за формулою:

$$F = M_{\partial\partial} \cdot i \cdot \eta_{\text{пер}} \frac{2}{D_k}, \quad (3)$$

де: $M_{\partial\partial}$ – пр крутний момент на валу двигуна; i – передаточне число приводного механізму; $\eta_{\text{пер}}$ – коефіцієнт корисної дії приводу.

Крутний момент двигуна змінюється за формулою Клосса [7]:

$$M_{\partial\partial} = \frac{2M_{\text{max}}(1 + S_{\text{кр}})}{\frac{S_{\text{кр}}}{S} + \frac{S}{S_{\text{кр}}} + 2S_{\text{кр}}}. \quad (4)$$

Ковзання в двигуні:

$$S = \frac{\omega_0 - \omega_{\partial}}{\omega_0}. \quad (5)$$

Кутова швидкість на валу електродвигуна:

$$\omega_{\partial} = \frac{\pi \cdot n_n}{30}, \quad (6)$$

де: n_n – номінальна частота обертання валу двигуна.

Кутову швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{p}, \quad (7)$$

де: f – частота напруги живлення двигуна; p – кількість пар полюсів електродвигуна.

Критичне ковзання в двигуні:

$$S_{\text{кр}} = S(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (8)$$

де: λ – перевантажувальний коефіцієнт двигуна.

Максимальний крутний момент двигуна:

$$M_{\text{max}} = M_{\partial\partial} \cdot \lambda. \quad (9)$$

Розв'язок системи диференціальних рівнянь (1) виконано з використанням чисельного інтегрування з наступними розрахунковими даними:

$$\begin{aligned}
 k_p &= 1,1; \quad m = 3200 \text{ кг}; \quad m_1 = 200 \text{ кг}; \quad m_2 = 300 \text{ кг}; \quad m_3 = 670 \text{ кг}; \\
 f &= 0,015; \quad d = 0,014 \text{ м}; \quad \mu = 0,003; \quad D_k = 0,2 \text{ м}; \quad i = 29; \quad \eta_{\text{пер}} = 0,88; \\
 W &= 407,4 \text{ Н}; \quad n = 1400; \quad c_1 = 96 \cdot 10^4 \text{ Н/м}; \quad c_2 = 69 \cdot 10^4 \text{ Н/м}; \\
 \omega_d &= 146,33 \text{ рад/с}; \quad f = 50 \text{ Гц}; \quad p = 2; \quad \omega_0 = 157 \text{ рад/с}; \quad S = 0,068; \quad \lambda = 2,3; \\
 S_{\text{кр}} &= 0,3; \quad M_{\text{max}} = 6,29 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad J_x = 7293 \text{ см}^4;
 \end{aligned}$$

У результаті чисельного інтегрування системи диференціальних рівнянь (1), що описують рух мостового крану, отримані графіки, які наведені на рис. 2 – рис. 7.

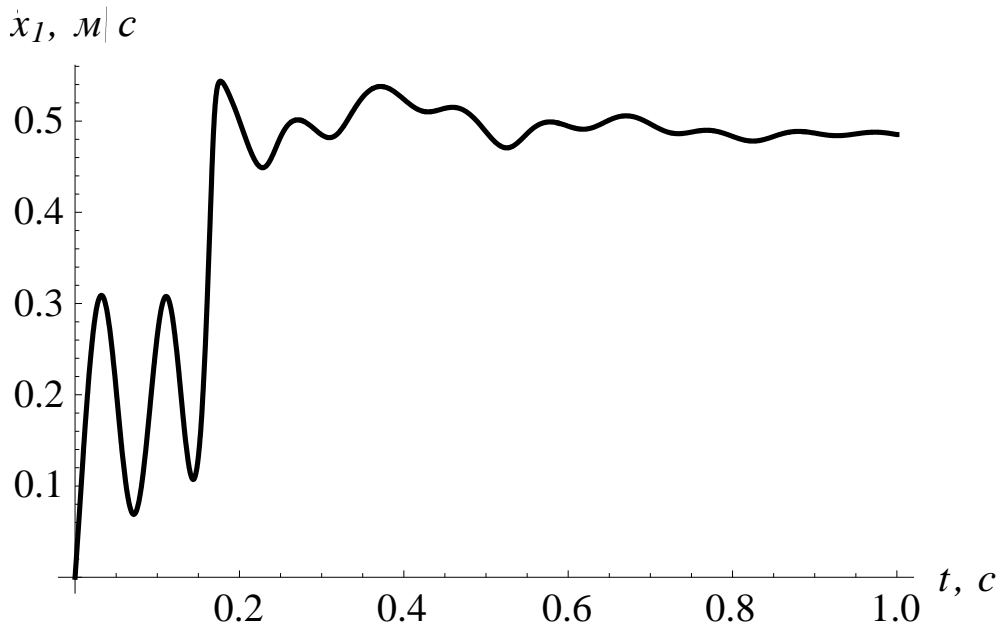


Рис. 2. Графік зміни швидкості привода.

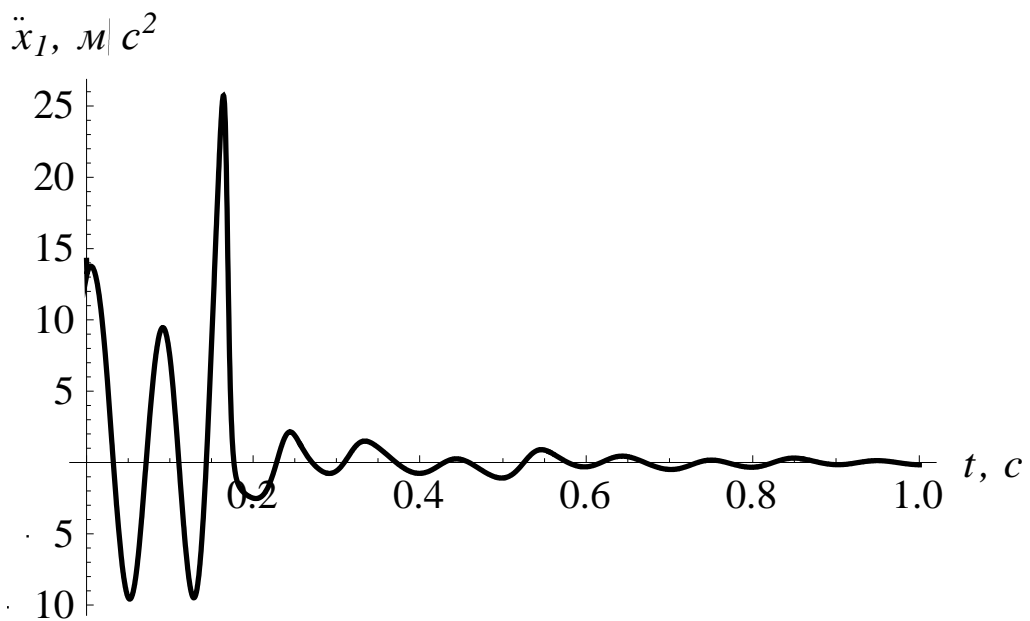


Рис. 3. Графік зміни прискорення привода.

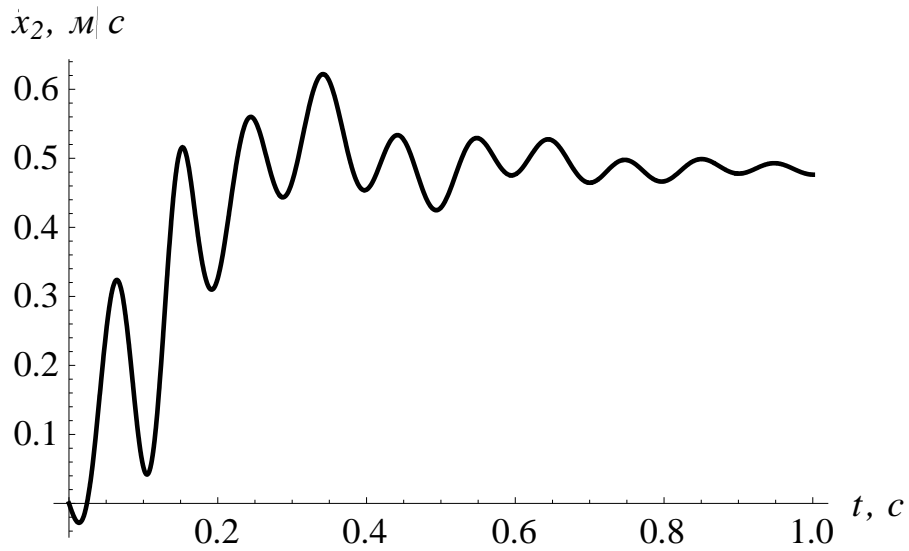


Рис. 4. Графік зміни швидкості кінцевих балок.

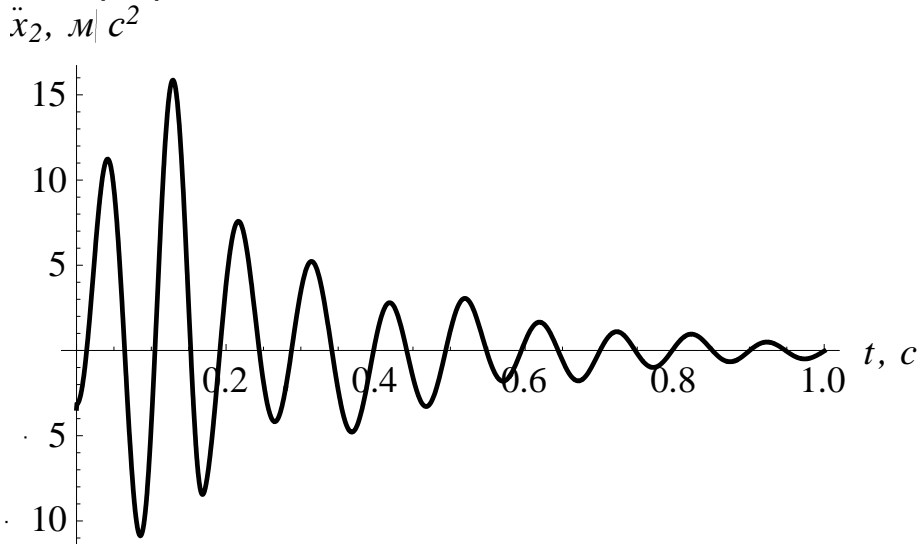


Рис. 5. Графік зміни прискорення кінцевих балок.

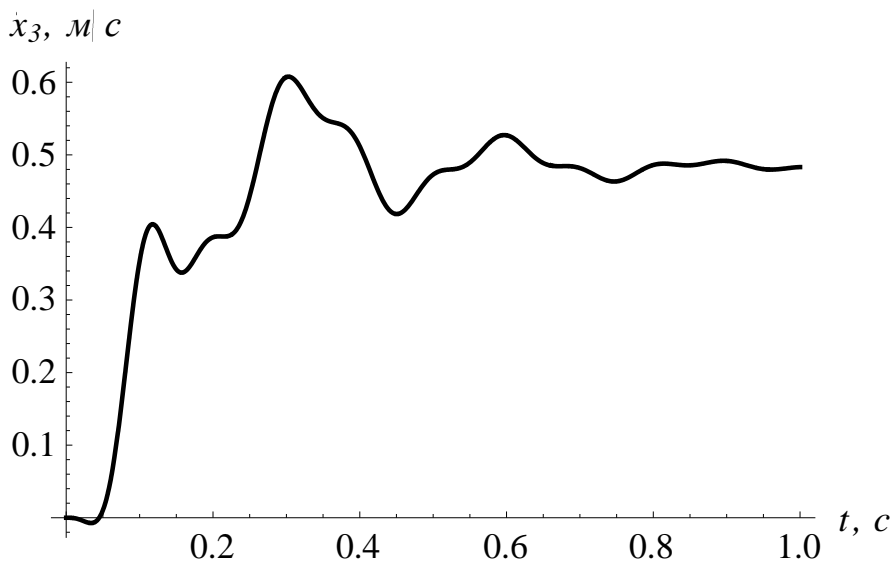


Рис. 6. Графік зміни швидкості мостової балки з крановим візком.

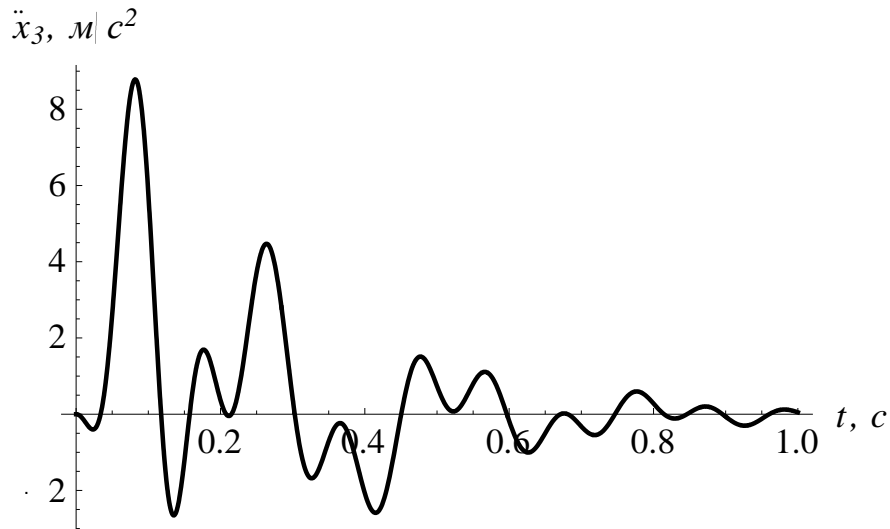


Рис. 7. Графік зміни прискорення мостової балки з крановим візком.

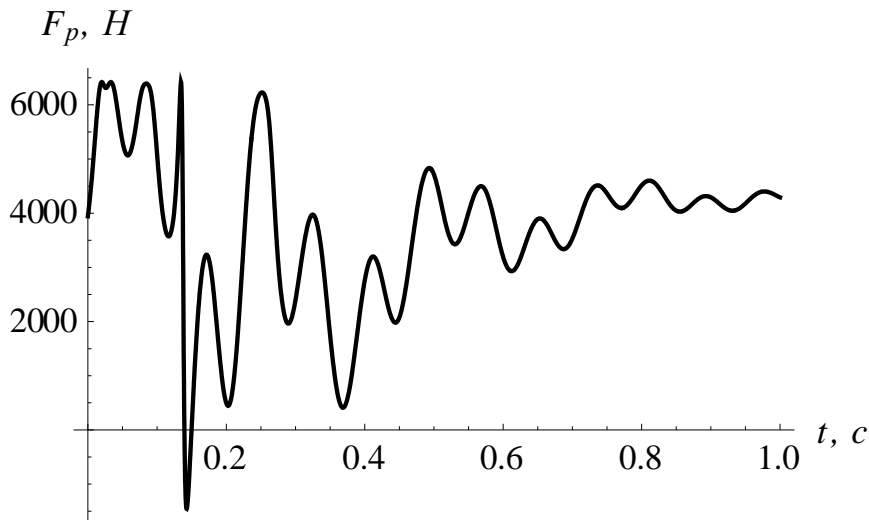


Рис. 8. Графік зміни рушійного зусилля крана.

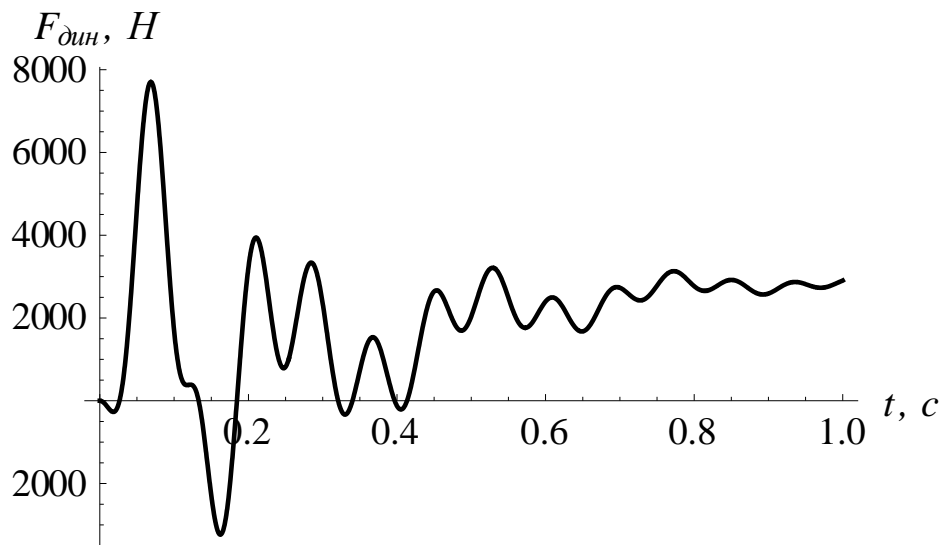


Рис. 9. Графік зміни пружного зусилля в мостовій балці крана.

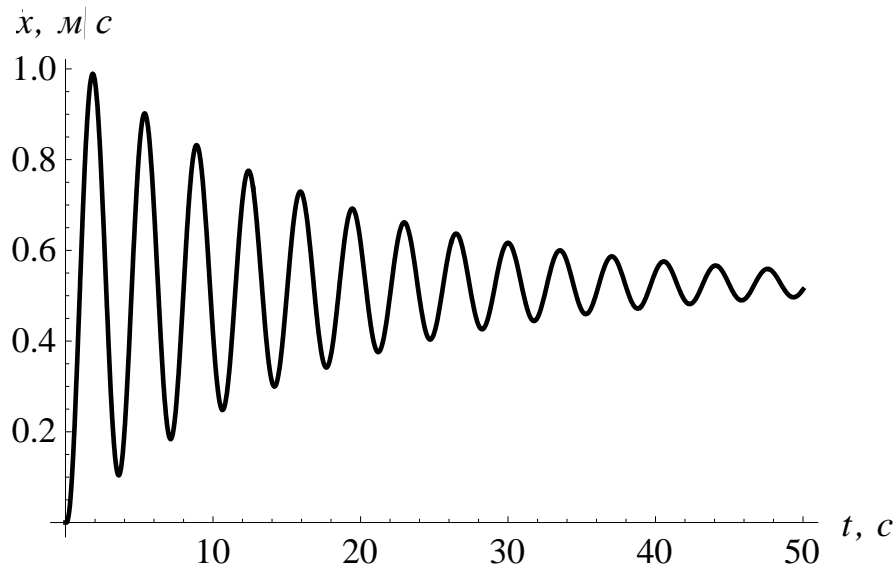


Рис. 10. Графік зміни швидкості вантажу.

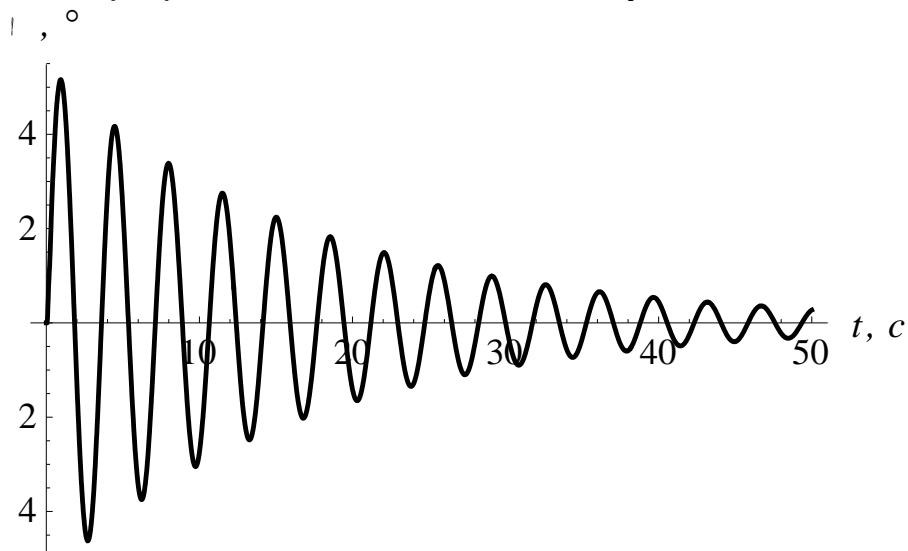


Рис. 11. Графік зміни кута відхилення вантажу відносно мостової балки.

Висновки

При розв'язку диференціальних рівнянь, що описують рух чотиримасової динамічної моделі отримані графіки перехідного процесу пуску мостового крана. Графіки на рис. 2 – рис. 7 відображають зміну швидкості і прискорення приведеної маси приводу, кінцевих балок, та мостової балки з візком при перехідному процесі пуску мостового крана. З графіків видно, що перехідний процес розгону супроводжується коливаннями швидкості та прискорення, однак при досягненні усталеної швидкості механізмом переміщення коливання плавно затухають. Перехідний процес супроводжується динамічними навантаженнями, що видно з рис. 8, рис. 9, які відображають зміну рушійного зусилля та пружного зусилля в мостовій балці. Також зусилля зумовлені дією електромагнітного моменту двигуна, який змінюється за рівнянням Клоса і є нелінійним. Також отримані графі-

ки швидкості коливання вантажу і відхилення його відносно центра мас балки з візком (рис. 10, рис. 11) звідки видно, що пікове значення коливання вантажу відбувається на початку пуску системи і становить більше 4° та має плавно згасаючий характер.

Усунути коливання елементів конструкції крана та вантажу, на початку руху можливо шляхом оптимізації перехідного процесу розгону/гальмування. Оптимізація перехідного процесу дасть змогу зменшити динамічні навантаження на металоконструкції мостового крана та покращить динамічні показники кранового механізму переміщення.

Список літератури

1. Палис Ф. Анализ поперечных колебаний мостового крана при изменении положения тележки / Ф. Палис, О.И. Толочко, Д.В. Бажутин // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. темат. вып.: Проблемы автоматизированного электропривода. – Х.: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 36 (1009). – С. 36–39.
2. Палис Ф. Гашения горизонтальных упругих колебаний конструкции мостового крана / Ф. Палис, О.И. Толочко, Д.В. Бажутин // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Теорія і практика. Тематичний випуск. – Кременчук: КрНУ. – 2012. – №3(19). – С. 336–339.
3. Лопатина А.А. Математическое моделирование колебаний балки мостового крана / А.А. Лопатина // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013. – 369 с.
4. Сагиров Ю.Г. Колебания пролетных балок мостового крана / Ю.Г. Сагиров, В.В. Суглобов // Захист металургійних машин від поломок. – Маріуполь: ПДТУ, 2008. – Вип. 10. – 347 с.
5. Ахтулов А.Л. Теоретическое исследование и моделирование процесса разгона грузоподъемного крана мостового типа / А.Л. Ахтулов, О.М. Кирасиров, Е.В. Комерзан // Омский научный вестник. – 2008. – Вып. 64. – 186 с.
6. Гайдамака В.Ф. Грузоподъемные машины / В.Ф. Гайдамака. – К.: Вища школа, 1989. – 328 с.
7. Крицштейн А.М. Электрические машины : методические указания / А.М. Крицштейн. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 51 с.

В работе проведен динамический анализ движения мостового крана с учетом механической характеристики приводного двигателя механизма горизонтального перемещения. Поставленная задача решена с помощью численного интегрирования дифференциальных уравнений движения мостового крана. Результаты работы проиллюстрированы графиками, характеризующие переходный процесс разгона мостового крана.

Кран, тележка, динамические нагрузки, динамическая модель, математическая модель, приведенная масса, балка крана, оптимизация.

The paper analyzes the dynamic movement of bridge crane with mechanical characteristics of mechanized drive motor horizontal displacement. The task solved by numerical integration differential equations of bridge crane motion. The results are illustrated graphs that characterize the transition process of overlocking overhead crane.

Crane, truck, dynamic loading, dynamic model, mathematical model, reduced weight, beam crane, optimization.

УДК 681.508

АНАЛІЗ СПОСОБІВ КЕРУВАНЬ ВАНТАЖОПІДЙОМНИМИ МАШИНАМИ

**С.Ф. Пилипака, В.С. Ловейкін, доктори технічних наук
П.В. Лимар, здобувач***

У статті проведений аналіз сучасних систем керування вантажопідйомних машин. Описано інтелектуальні алгоритми управління вантажопідйомними механізмами, засновані на рішенні оберненої задачі динаміки і застосуванні нечіткої логіки. Алгоритми керування знижують вимоги до кваліфікації операторів вантажопідйомних механізмів і дозволяють перенести "інтелект" навченого персоналу на системи управління.

Режим руху, датчик, керування краном, привід, зворотній зв'язок.

Постановка проблеми. Крани все частіше використовуються в транспорті і будівництві. Вони також стають більшими, швидшими і вищими, вимагаючи ефективного керування, щоб гарантувати швидке переміщення вантажу та задовольняти вимогам безпеки. Робочий рух при переміщенні кранового візка характеризується перехідними режимами роботи, тобто систематичними прискореннями та гальмуваннями. При таких короточасних змінах швидкості як в деталях механізмів, так і у вузлах металоконструкції виникають динамічні навантаження, які можна виявити за допомогою обраної розрахункової моделі.

В процесі роботи крана, візок з підвішеним на гнучкому підвісі вантажем здійснює постійні переміщення вздовж несучої ферми та консолей. Процес переміщення візка включає в себе розгін,

*Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін

© С.Ф. Пилипака, В.С. Ловейкін, П.В. Лимар, 2015