

УДК 621.86

Григоров О.В., д.т.н.; Ожунь А.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

УДОСКОНАЛЕННЯ КЕРУВАННЯ РУХОМ ВІЗКА КАБЕЛЬНОГО КРАНА ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Анотація. Стаття присвячена розробці експериментальної моделі кабельного крана та дослідженню переміщення візка кабельного крана під дією власної ваги при застосуванні автоматичної системи керування, яка оперує масивом параметрів кривої провисання каната, в результаті чого вантаж на гнучкому підвісі переміщується на задану відстань.

Ключові слова: кабельний кран, система «візок – вантаж», керування, підіймоно-транспортні машини, несучий канат.

Аннотация. Статья посвящена разработке экспериментальной модели кабельного крана и исследованию перемещения тележки кабельного крана под действием собственного веса при использовании автоматической системы управления, которая оперирует массивом параметров кривой провисания каната, в результате чего груз на гибком подвесе перемещается на заданное расстояние.

Ключевые слова: кабельный кран, система «тележка – груз», управление, подъёмно-транспортные машины, несущий канат

Abstract. The article is devoted to the development of an experimental model of a cable crane and to the investigation of the cable crane trolley movement under the influence of its own weight using an automatic control system that operates with an array of parameters of a sagging curve of a rope, as a result of which a cargo on a flexible suspension moves at a desired distance.

Key words: cable crane, “carriage-cargo” system, control, lifting and transport machines, tracking cable.

Вступ.

Кабельні крани є незамінним засобом транспортування у різних галузях від лісного господарства до гідроенергетики з різними характеристиками і різними задачами в умовах обмеженої доступності й простору, при відсутності під'їзних шляхів і складному рельєфу навколишнього середовища, що перешкоджає традиційному

© Григоров О.В., Ожунь А.О.

використанню автотранспорту та іншого підйомно-транспортного обладнання для логістики матеріальних потоків.

Проте значні початкові витрати при транспортуванні та монтажі не дозволяють розширювати географію використання кабельних кранів.

Аналіз попередніх публікацій.

Удосконаленню конструкції та керування кабельними кранами присвячена значна кількість наукових робіт та технічних рішень у вигляді патентів [1–10]. Використання нових конструкційних рішень поліпшує економічні та технічні показники використання кабельних кранів, але лише у визначеному діапазоні, оскільки основні конструкційно-компонувальні рішення схожі: крановий візок рухається за допомогою тягового каната уздовж несучого каната, який закріплено між двома опорами, а підймання вантажу забезпечується підймальним канатом [12]. Також увага дослідників приділяється удосконаленню керування, що є достатньо складною задачею. Застосування таких рішень ще більше підвищує вартість експлуатації кабельних кранів. Тому проблема удосконалення конструкції, або керування рухом кабельного крана актуальна задача сьогодні.

Мета і постановка задачі. Мета роботи – розробити експериментальну модель кабельного крана та дослідити переміщення візка кабельного крана під дією власної ваги при застосуванні автоматичної системи керування, яка оперує масивом параметрів кривої провисання каната, в результаті чого вантаж на гнучкому підвісі переміщується на задану відстань.

Конструкція кабельного крана.

Як зазначалося у [13] в основу запропонованого технічного рішення покладено задачу підвищення продуктивності за рахунок зменшення енерго- та ресурсовитрат, що призведе до зменшення собівартості крана і зростання ефективності його роботи.

Конструкція кабельного крана запропонована в [13], зображена на рис. 1, складається з опор, які оснащені ходовими гвинтами та напрямними, вздовж яких переміщуються повзуни із закріпленими за допомогою муфт кінцями несучого каната, яким пересувається крановий візок під дією власної ваги.

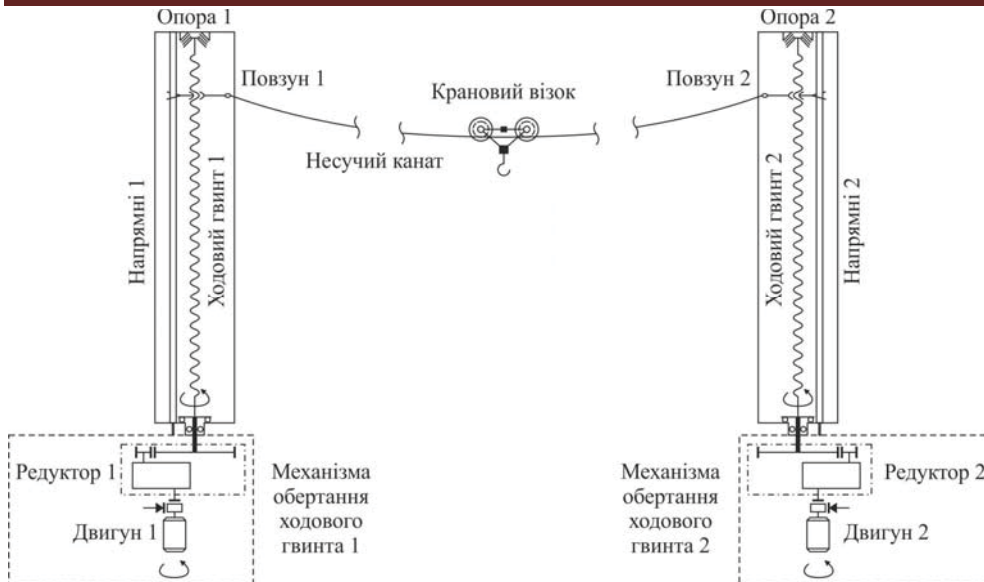


Рис. 1 Схема конструкції кабельного крана

Запропонована конструкція дозволяє за рахунок усунення механізму пересування візка (не використовується тяговий канат), усунення підтримок та механізму підймання вантажу (не використовується підймальний канат) зменшити енерго- та ресурсовитрати, а також знизити собівартість кабельного крана.

Керування рухом візка кабельного крана.

Для керування кабельними кранами на провідних підприємствах-виробниках використовується система зі зворотним зв'язком. Кабельні крани мають систему відеоконтролю з постійним відеоспостереженням усіх опор та прогону.

Привод, а також інші елементи крана керуються за допомогою дистанційної системи з місця, де знаходиться центр керування логістикою всього будівельного майданчика. Оператор системи відстежує весь шлях через систему відеоспостереження. Елементи (вузли) крана радіокеровані, а деякі технічні системи, такі як відеомоніторинг шляху, є системами підтвердження.

Доволі часто керування приводами здійснюється шляхом використання панелі керування за допомогою маніпулятора типу "джойстик", сенсорним екраном та дисплеєм на станції рульового керування. Пункт керування знаходиться в критому корпусі, захищеному від будь-якого впливу навколишнього середовища [14].

Керування візком кабельного крана у повністю автоматичному режимі достатньо трудомістка задача. Рівняння руху візка кабельного крана описуються складною системою рівнянь [15], де одним з основних параметрів є довжина несучого каната. Багато авторів оприлюднили апроксимуючі формули, котрі вони знайшли за

допомогою рядів Тейлора [16]. Ці апроксимуючі формули корисні для рівномірно розподіленого навантаження. Коли завантажений візок рухається уздовж несучого каната, відхилення збільшується через пружне подовження каната, та через те, що канат випрямляється.

Як відомо [17] значення максимального провисання f_{\max} несучого каната повинно бути у межах 3–8 % від довжини прогону. Тоді виходячи з цього обмеження можна визначити довжину несучого каната за виразом (1) [18].

$$s = L + \frac{h^2}{2L} + \frac{g^2 l^3}{24H^2 \cos^2 \beta} + \frac{x(L-x)}{2LH^2} Q \left(Q + \frac{gl}{\cos \beta} \right), \quad (1)$$

де L – довжина прогону; h – різниця між висотами точок кріплення несучого каната; H – натяг несучого каната; g – погонна вага несучого каната; x – відстань до заданої точки провисання каната; Q – вага вантажу та кранового візка; β – кут нахилу дотичної до кривої.

Слід зауважити, що при розташуванні опор на одному рівні $h = 0$ та $\cos \beta = 1$.

Згідно [19] траєкторія руху візка кабельного крана визначається кривою провисання каната, початок координат віднесений до верхньої точки опори

$$y = xtg\beta + \frac{x(L-x)}{2H} \left(\frac{g}{\cos \beta} + 2\frac{Q}{L} \right). \quad (2)$$

Провисання несучого каната під дією вантажу представляє собою суму провисань від рівномірно розподіленого навантаження і від зосередженого навантаження

$$f_x = \frac{gx(L-x)}{2H \cos \beta} + Q \frac{x(L-x)}{HL}, \quad (3)$$

а максимальне провисання буде

$$f_{\max} = \frac{gL^2}{8H \cos \beta} + \frac{QL}{4H}. \quad (4)$$

Також варто зазначити, що співвідношення величини провисання несучого каната у довільній точці прогону до максимальної її величини при навантаженні каната рівномірно розподіленим і зосередженим навантаженням, а також співвідношення для випадку навантаження тільки рівномірно розподіленим навантаженням

$$\frac{f_x}{f_{\max}} = \frac{4x(L-x)}{L^2}. \quad (5)$$

Співвідношення для обох випадків навантаження однакові. Тобто крива провисання, яку описує вантаж при русі уздовж каната, який знаходиться під дією рівномірно розподіленого навантаження, має таку ж форму, що і крива провисання каната під дією тільки рівномірно розподіленого навантаження. Ця крива представляє собою параболу з максимальним провисанням посередині прогону, яка визначається з рівняння (3).

Далі для визначення потрібної кривої провисання каната для обраної точки розвантаження/завантаження на робочому майданчику необхідно визначити Δh – різницю між кінцями каната на опорах (рис. 2).

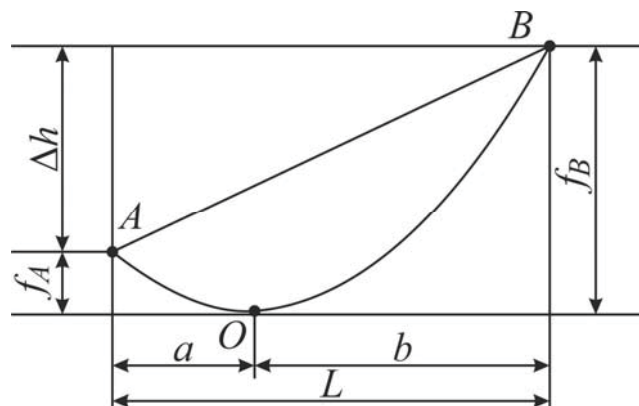


Рис. 2 – Крива провисання каната

Відповідно до рис. 2 $\Delta h = f_B - f_A$. Для визначення значень провисання f_A і f_B підставимо відповідні значення абсцис a і b у рівняння кривої провисання каната, для зручності розрахунків початок координат віднесений до нижньої точки O

$$f_A = \frac{ga^2}{2H}; \quad f_B = \frac{gb^2}{2H}. \quad (6)$$

Оскільки $a + b = L$ або $a = L - b$, то підставляючи значення f_A і f_B з рівняння (6) і замінюючи b різницею $L - a$, маємо

$$\Delta h = f_B - f_A = \frac{gL}{2H}(2b - L). \quad (7)$$

Таким чином, отримаємо різницю відміток точок закріплення каната Δh , від якого залежить положення візка крана. Варто зазначити, що при зміні величини натягу H і погонної ваги каната g , зміниться і положення найнижчої точки кривої провисання каната.

Експериментальна модель та результати дослідження.

У лабораторії кафедри "Підйомно-транспортні машини і обладнання" НТУ "ХП" було створено експериментальну модель, зображену на рис. 3 для реалізації вищенаведеного технічного рішення з мікроконтролерною системою керування.

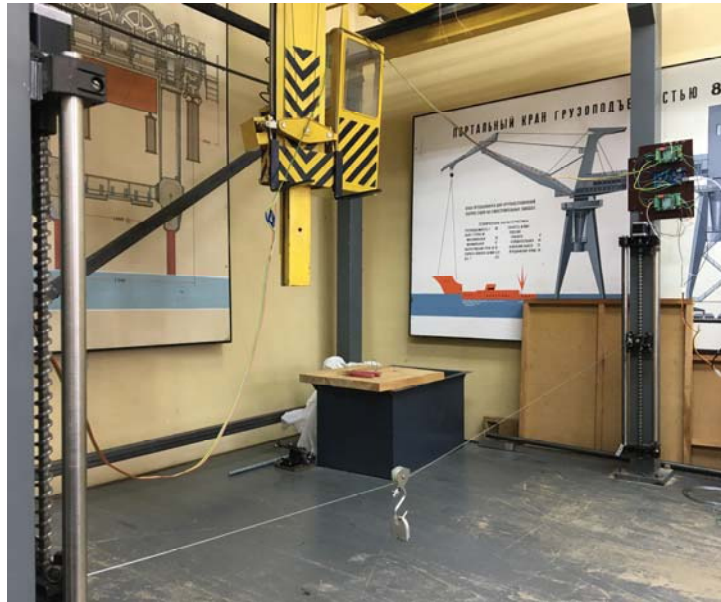


Рис. 3 – Експериментальна модель кабельного крана з автоматичною системою керування

У якості системи керування використовується відкрита програмована апаратна платформа для роботи з різними фізичними об'єктами і представляє собою плату з мікроконтролером, а також спеціальне середовище розробки для написання програмного забезпечення мікроконтролера.

Автоматична система керування без зворотного зв'язку заснована на визначенні значення різниці між точками закріплення несучого каната. Але для цього випадку потрібно внести точні параметри кабельного крана з мінімальною похибкою.

У спеціальному середовищі для написання програмного забезпечення для мікроконтролера була створена програма визначення кривої провисання несучого каната, за допомогою якої можна заздалегідь задати точку розвантаження та завантаження, тобто вирішується задача точного позиціонування.

Досліджувана конструкція кабельного крана була оснащена автоматичним керуванням на основі мікроконтролера ATmega2560. Схематично експериментальна модель представлена на рис. 4. Нижні й верхні кінці опор оснащено кінцевими вимикачами для безаварійної роботи системи.

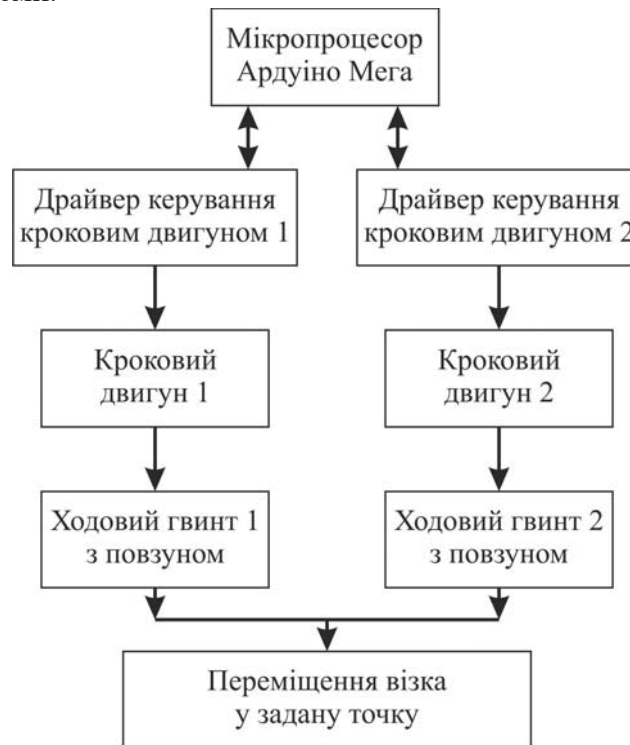


Рис. 4 – Схема системи автоматичного керування

Як вже відзначалося вище, рух візка кабельного крана відбувається під дією власної ваги за рахунок перепаду висот між повзунами, до яких кріпляться кінці несучого каната. Повзуни рухаються уздовж ходових гвинтів, які розміщуються на опорах крана. Для здійснення обертання ходових гвинтів нами використовуються двофазні крокові двигуни, з'єднані з драйверами керування, які керуються за допомогою мікроконтролера, котрий в свою чергу під'єднано до комп'ютера.

У пакеті прикладних програм MATLAB отримано розв'язання задачі технічного обчислення керування рухом візка кабельного крана за таким алгоритмом.

1. Введення обмежень та початкових значень фізичних величин (вага візка та вантажу, довжина прогону та ін.).

2. За формулами розраховується крива провисання каната та задається точка призначення. Визначається траєкторія руху візка.

3. Отримана траєкторія руху реалізується за допомогою автоматичної системи керування.

Працездатність алгоритму керування рухом візка кабельного крана за фактором позиціювання підтверджена серією експериментальних досліджень. Похибка склала 2 %.

На етапі 2 алгоритму при задалегідь розрахованих варіантах кривої провисання несучого каната (незмінна довжина прогону, вага вантажу й візка, а також величина провисання каната) створено масив відповідних значень із кроком точності позиціювання 1 см. При завданні точки завантаження/розвантаження автоматична система здійснює лише пошук потрібної кривої провисання каната для подальшої реалізації без розрахунку.

Висновки. Експериментально досліджена можливість застосування конструкції кабельного крана при здійсненні переміщення візка кабельного крана під дією власної ваги за допомогою автоматичної системи керування, яка оперує масивом параметрів кривої провисання каната. Задача керування рухом динамічної системи «візок – вантаж» вирішується засобами мікроконтролерної техніки в результаті чого виконується точне позиціювання вантажу на гнучкому підвісі у заданій задалегідь точці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Optimizing GPS-guidance transit route for cable crane collision avoidance using artificial immune algorithm / H. Wu, Y. Yin, S. Wang, W. Shi, K.C. Clarke, Z. Miao // *GPS solutions* : Springer, 2016. – 12 p. DOI 10.1007/s10291-016-0573-6.
2. Optimal Control of long cable crane systems / J. Vogelsang, C. Büskens // *PAMM Proc. Appl. Math. Mech.* 8, 2008. – PP. 10151–10152. DOI 10.1002/pamm.200810151.
3. Wirtschaftliche Lasten-Förderung C. Vorwerk, K.-H. Wehking // *Hebezeuge Fördermittel* : Berlin. – Vol. 47. – 2007. – Issue 10. – PP. 536-538.
4. Discrete Model and Calculation Method for Rope – Rod Structures / D. Pataria // *Problems of Mechanics*. – Tbilisi, 2008. – PP. 15–27.
5. Пат. CN 102649466 A, МПК (2006.01) B 63 B 27/16. Port Cable Crane / Y. You, заявник і власник патенту. – № CN2011147046 20110226; заявл. 26.02.2011 ; опубл. 29.08.2012.
6. Пат. CN1107119 A, МПК 7 B 66 C 13/48. Computer Control method for Cable Crane System / Y. Mao, H. Chen, Y. Chen, заявники; Science Inst China Changjiang, власник патенту. – № CN1994108421 19940722; заявл. 22.07.1994 ; опубл. 23.08.1995.
7. Пат. CN106044579 A, МПК (2006.01) B 66 C 21/00, B 66 D 1/00. Structure and Method for Assisting Traction Skyline to Cross River by Cable Crane Traveling Trolley / Y. Junhan, L. Chang, L. Mengmeng,

- В. Xiaосао, Z. Jian, Z. Qiang, Y. Zhenzhen, Y. Yong, Z. Guirong, M. Lijuan, заявники; Changjiang Survey Planning Design Res Co Ltd, власник патенту. – № CN20161618962 20160801; заявл. 08.01.2016 ; опубл. 26.10.2016.
8. Пат. JP2015067455 А, МПК (2006.01) В 66 С 21/02. Cable Crane / Т. Kiyohiro, О. Hitoshi, О. Makoto, М. Takaya, О. Nobuhiro, заявники; Kajima Corp, власник патенту. – № JP20130206342 20131001; заявл. 01.10.2013 ; опубл. 13.04.2015.
9. Пат. US5392935 А, МПК 7 В 66 С 21/00. Control System for Cable Crane / К. Keizo, Т. Kiichiro, Т. Eiji, N. Michio, заявники; Ohbayashi Corp, власник патенту. – № US19930105979 19930813; заявл. 13.08.1993 ; опубл. 28.02.1995.
10. Пат. JPH0881179 А, МПК 7 В 66 С 13/22, В 66 С 13/48, В 66 С 21/00. Operating Method for Cable Crane / S. Shuntaro, M. Shigeki, M. Yasuma, S. Takakazu, H. Fumiaki, заявники; Ishikawajima Harima Heavy Ind., власник патенту. – № JP19940217390 19940912; заявл. 08.05.2001 ; опубл. 22.11.2002.
11. Пат. WO02076873 А1, МПК 7 В 66 С 13/06. Arrangement for Placing Crane Mechanisms / Н. Про, заявник; KCI Konecranes Int. PLC, власник патенту. – № WO2002FI00245 20020322; заявл. 22.03.2002 ; опубл. 03.10.2002.
12. Куйбида Г.Г. Кабельные краны. – М. : Машиностроение, 1989. – 288 с.
13. Кабельний кран нової конструкції / О.В. Григоров, А.О. Окунь // Вісник НТУ "ХПІ". Серія : Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ "ХПІ". – 2014. – № 7. – С. 3–6 с.
14. 20 Ton Heavy Duty Material Ropeway : рекламний буклет / LCS Cable Cranes. – 8 р.
15. Удосконалення математичної моделі руху для задачі керування підйомно-транспортними машинами / О.В. Григоров, А.О. Окунь // Автомобільний транспорт. – № 40. – 2017.
16. Winch and Cable Sstems / I. Samset. – Springer Science+Business Media Dordrecht, 1985. – 540 р.
17. Специальные грузоподъёмные машины : учебн. пособие: В 8 кн. Кн. 4 : Козловые краны и мостовые перегружатели. Краны кабельного типа / А.П. Кобзев, В.П. Пономарёв; под ред. К.Д. Никитина. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. – 140 с.
18. Кабельные краны / И.Е. Барат, В.И. Плавинский. – М. : Машиностроение, 1964. – 340 с.
19. Дукельский А.И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. – М.–Л. : Машиностроение, 1966. – 481 с.