

Гірничі та піднімально-транспортні машини

ОПТИМІЗАЦІЯ УСТАЛЕНОГО РЕЖИМУ РУХУ КРАНОВОГО ВІЗКА З ГНУЧКИМ ПІДВІСОМ ВАНТАЖУ ЗА КІНЕТИЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ

Вячеслав Ловеїкін¹, Олександр Шевчук²

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, Київ, Україна

² Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітофлотський пр-кт 31, Київ, Україна,
e-mail: oshev4uk@gmail.com

OPTIMIZATION NORMAL MODE OF MOTION CRANE TROLLEY WITH HANGING LOAD BY THE KINEMATIC CRITERIA

Vyacheslav Loveykin¹, Alexander Shevshuk²

¹ National University of Life Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony st., 15, Kyiv, Ukraine

² Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitoflotsky Prospect 31, Kyiv, Ukraine

АНОТАЦІЯ. У статті розглянуто спосіб усунення коливань вантажу при усталеному русі кранового візка. Визначені оптимальні режими руху кранового візка за яких вантаж не здійснює коливання протягом усталеного режиму руху. Оптимізація руху кранового візка проводиться за допомогою варіаційного числення. За регулюючий параметр вибрано зусилля, що діє на крановий візок зі сторони приводного механізму.

Ключові слова: крановий візок, коливання вантажу, оптимальний режим руху.

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрен способ устранения колебаний груза при установившемся движении крановой тележки. Определены оптимальные режимы движения крановой тележки, при которых груз не совершает колебания в течение установившегося режима движения. Оптимизация движения крановой тележки производится с помощью вариационного исчисления. За регулирующий параметр выбрано усилие, что действует на крановую тележку со стороны приводного механизма.

Ключевые слова: крановая тележка, колебания груза, оптимальный режим движения.

SUMMARY. Purpose. The purpose of the research is to establish the conditions and modes of motion crane trolley, in which cargo would not commit fluctuations throughout the land of steady motion. **Methodology/approach.** Optimization of motion crane trolley is performed using variational methods. For regulatory option is selected efforts acting on the crane trolley side of the drive mechanism. **Research limitations/implications.** Analysis of the results optimization by the kinematic criteria showed that the speed of crane trolley and load remain constant during the steady motion, and their acceleration is zero. **Originality/value** To provide that such conditions of movement and accelerate crane trolley up to established speed, necessary to conduct future research to establish a start-mode in which a load fluctuations are eliminated.

Key words: crane trolley, load fluctuations, optimal mode of motion.

Вступ

Під час руху кранового візка вантаж на гнучкому підвісі здійснює маятникові коливання відносно точки підвісу [1]. Наявність цих коливань приводить до зниження продуктивності крана та його надійності [2], а також впливає на безпечність експлуатації [3]. При роботі перевантажувальних кранів значну частину технологічного циклу складає тривалість ділянки усталеного руху. Тому усунення коливань вантажу на цій ділянці є важливою задачею.

Проблемі усунення коливань вантажу на гнучкому підвісі присвячено значну кількість наукових праць [4-8]. Однак, в цих дослідженнях основна увага приділялась усуненню коливань вантажу на ділянках перехідних процесів (пуск, гальмування) [4-7] або на всій ділянці руху

[8]. Разом з тим обґрунтування умов і режимів руху кранового візка з гнучким підвісом вантажу на ділянці усталеного руху ще проведено недостатньо.

Мета дослідження полягає в тому, щоб встановити умови та режими руху кранового візка, за яких вантаж не здійснював би коливань протягом всієї ділянки усталеного руху.

Виклад основного матеріалу

Для оптимізації за кінематичними критеріями кранового візка з гнучким підвісом вантажу вибрана двомасова динамічна модель [8], яка показана на рис. 1. Вона складається з візка масою m_1 і вантажу масою m_2 , підвішеному на гнучкому канаті довжиною l . На візок діють рушійна сила $F(t)$ і зусилля

статичного опору W . Вважаємо, що канат нерозтяжний, невагомий і абсолютно гнучкий, маса вантажу зосереджена в одній точці, коливання вантажу малі й відбуваються лише в площині руху візка. Маса привідного механізму зведена до маси візка і зосереджена в його центрі мас. Пружністю елементів привідного механізму нехтуємо, оскільки частоти їхніх коливань приблизно на порядок більші за частоту коливань вантажу і на коливання останнього не впливають[1].

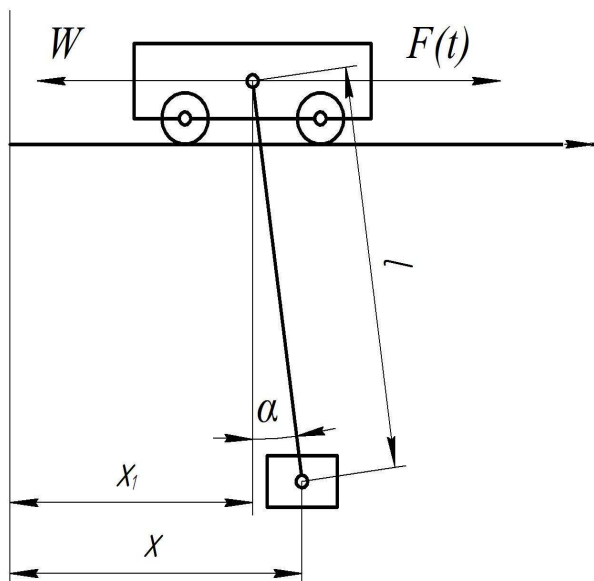


Рис. 1. Двомасова динамічна модель вантажного візка

Fig. 1. Dynamic model lifting trolley with two masses

За узагальнені координати цієї моделі прийняті координати центрів мас візка і вантажу відповідно x_1 та x . За основою рівняння Лагранжа другого роду складаємо рівняння руху цієї системи [8], тобто

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 = F(t) - \frac{mg}{l}(x_1 - x) - W \text{sign}(\dot{x}_1); \\ \ddot{x} = g(x_1 - x)/l, \end{cases} \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння.

Для оптимізації режиму руху кранового візка скористаємося кінематичними критеріями. За такий критерій приймемо квадратичне відхилення вантажу від вертикалі, який запишемо у вигляді інтегрального функціоналу

$$I = \int_0^{t_1} \Delta x^2 dt = \left(\frac{l}{g}\right)^2 \int \ddot{x}^2 dx \rightarrow \min, \quad (2)$$

де $\Delta x = x_1 - x$ – відхилення вантажу від вертикалі (визначається з другого рівняння системи (1)); t – час; t_1 – тривалість усталеного руху кранового візка.

Умовою мінімуму функціоналу (2) є рівняння Ейлера-Пуассона [9], яке для даного випадку запишеться як

$$x^{IV} = 0. \quad (3)$$

Загальний розв'язок такого рівняння записується у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{6} C_1 t^3 + \frac{1}{2} C_2 t^2 + C_3 t + C_4; \\ \dot{x} &= \frac{1}{2} C_1 t^2 + C_2 t + C_3; \\ \ddot{x} &= C_1 t + C_2; \\ \ddot{x} &= C_1; \\ x^{IV} &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

де C_1, C_2, C_3, C_4 – сталі інтегрування, які визначаються з крайових умов. Для початкових умов усталеного руху кранового візка з вантажем ($t = 0, x = 0, \ddot{x} = 0$) та кінцевих умов ($t = t_1, x = s, \ddot{x} = 0$), де s – переміщення кранового візка з вантажем за весь період усталеного руху, отримаємо:

$$\begin{aligned} C_1 &= 0; \\ C_2 &= 0; \\ C_3 &= s/t_1; \\ C_4 &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Після підстановки цих постійних інтегрування в систему (4) отримаємо закон руху вантажу при усталеному русі кранового візка, що визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} x &= s t / t_1; \\ \dot{x} &= s / t_1. \end{aligned} \quad (6)$$

Для визначення оптимального режиму руху візка підставимо відповідні рівності (6) у друге рівняння системи (1). Після чого будемо мати:

$$\begin{aligned}x_1 &= x + \frac{l}{g} \ddot{x} = x = st / t_1; \\ \dot{x}_1 &= \dot{x} + \frac{l}{g} \ddot{x} = \dot{x} = s / t_1; \\ \ddot{x}_1 &= \ddot{x} + \frac{l}{g} x^{IV} = \ddot{x} = 0.\end{aligned}\quad (7)$$

Як видно з рівнянь (7) прискорення візка дорівнює нулю, а швидкість рівномірна і дорівнює швидкості руху вантажу.

Визначимо закон зміни рушійної сили $F(t)$. Підставивши всі необхідні, вищевизначні величини в перше рівняння системи(1), отримаємо:

$$F(t) = W \operatorname{sign}(\dot{x}_1) = \operatorname{const}. \quad (8)$$

Рівняння (8) показує, що рушійна сила $F(t)$ приймає постійне значення при усталеному режимі руху.

Проведемо оптимізацію усталеного режиму руху візка за ще одним кінематичним критерієм. У цьому випадку мінімуємо квадратичну швидкість відхилення вантажу від вертикалі $\Delta \dot{x}^2$ протягом усього циклу усталеного руху кранового візка. Запишемо це у вигляді інтегрального функціоналу

$$I_2 = \int_0^{t_1} \Delta \dot{x}^2 dt = \left(\frac{l}{g}\right)^2 \int_0^{t_1} \ddot{x}^2 dx \rightarrow \min. \quad (9)$$

Умовою мінімуму критерію(9) є рівняння Ейлера-Пуассона [9], яке для функціоналу (9) запишеться так

$$x^{VI} = 0. \quad (10)$$

Для розв'язку рівняння (10) задамо шість крайових умов руху вантажу прикріпленого на гнучкому підвісі до кранового візка при сталому режимі руху:

$$\begin{cases} x = 0, \ddot{x} = 0, \ddot{x} = 0 \text{ при } t = 0; \\ x = s, \ddot{x} = 0, \ddot{x} = 0 \text{ при } t = t_1. \end{cases} \quad (11)$$

Послідовно інтегруючи рівняння (10) та враховуючи крайові умови (11), отримаємо оптимальний режим руху вантажу

$$\begin{aligned}x &= st / t_1; \\ \dot{x} &= s / t_1.\end{aligned} \quad (12)$$

Порівнявши рівняння (12) і (6) бачимо, що оптимальні режими руху вантажу визначені за критеріями (9) і (2) – однакові. Отже і рівняння руху візка і зміна рушійної сили за таким режимом руху будуть

описуватись рівняннями (7) і (8) відповідно.

Висновки

Аналіз отриманих результатів показав, що при оптимізації за кінематичними критеріями швидкість кранового візка і вантажу залишаються постійними протягом усталеного руху, а їх прискорення дорівнює нулю. Проте, щоб забезпечити такі умови руху і розігнати крановий візок з вантажем до усталеної швидкості, необхідно виконати такий режим пуску за яким коливання вантажу усуваються в кінці перехідного періоду (пуску).

Література

1. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
2. Перельмутер М.М., Пляков Л.Н. Устранение колебаний груза, подвешенного к крановой тележке, воздействием на него электроприводом //Изв.вузов. Электромеханика. – 1971. №7. – с. 769-774
3. Аксенов Л.Б. Синтез системы для гашения колебаний груза /«Подъемно-транспортные машины». – Тула, 1981. – Вып. 10. – с.66-69.
4. Григоров О.В., Петренко Н.О. Вантажопідйомні машини: навч. посібник. – Харків: НТУ «ХПГ», 2006. – 304 с.
5. Герасимьяк Р.П., Петренко Л.В. Оптимальное управление крановым механизмом передвижения /Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 1999. – № 1. – С. 87–94.
6. Смехов А.А. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами / А.А. Смехов, Н.И. Ерофеев. – М.: Машиностроение, 1975. – 239с.
7. Ловейкин В.С., Ярошенко В.Ф., Ромасевич Ю.О. Про можливість оптимізації режиму пуску механізму пересування кранового візка за різними критеріями /Підйомно-транспортна техніка. – Днепропетровск: ДПТ, 2007. – Вип. № 3. – С. 15–23.
8. Ловейкин В.С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.
9. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов. М. Машиностроение, 1987. – 160с.
10. Эльсгольц, Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление [Текст]. – М.: Наука, 1969. – 424с.

References

1. *Lobov N.A.*, 1987. *Dinamika gruzopodyemnykh kranov* [Dynamics hoisting cranes]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 160.
2. *Perelmutter M.M.*, *Plyakov L.N.*, 1971. *Ustraneniye kolebaniy gruzha, podveshenogo k kranovoy teleshke, vozdeystviyem na nego yelektroprivodom* [Eliminating vibration load attached to the trolley, the effect on it electric drive]. *Elektrotehnika* [Electronics], no. 7, 769-774.
3. *Aksenov L.B.*, 1981. *Sintez sistemy dlya gasheniya kolebaniy gruzha* [Synthesis system for damping load]. *Podyomno-transportnyye mashiny* [Handling machines], no. 10, 66-69.
4. *Grigorov O.V.*, *Petrenko N.O.*, 2006. *Vantazhopidyyomni mashyny: navch. posibnyk* [Hoisting machine: teach. user]. Kharkiviv, NTU HPG Publ., 304.
5. *Gerasimyak R.P.*, *Petrenko L.V.*, 1999. *Optimalnoye upravleniye kranovym mekhanizmom peredvizheniya* [Optimal control of the crane trolley]. *Avtomatika. Avtomatizatsiya. Elektrotekhnicheskiye komplekxy i sistemy* [Automation. Automation. Electrical systems and systems], no. 1, 87-94.
6. *Smekhov A.A.*, *Yerofeyev N.I.*, 1975. *Optimalnoye uppavlenie podyemno-transportnymi mashinami* [Optimal control handling machines]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 239.
7. *Loveykin V.S.*, *Yaroshenko V.F.*, *Romasevych YU.O.*, 2007. *Pro mozhlyvist optymizatsii rezhymu pusku mekhanizmu peresuvannya kra-novoho vizka za riznymi kryteriyamy* [On the possibility of optimizing the start-up mode mechanism of movement of the country, a new trolley on various criteria]. *Pidyomno-transportna tekhnika* [Lifting and transport technique], no. 3. Dnepropetrovsk, 15-23.
8. *Loveykin V.S.*, 1990. *Raschety optimalnikh rezhimov dvizheniya mekhanizmov stroitelnykh mashin* [Calculation of the optimal modes of movement mechanisms of construction machinery]. Kyiv, UMK VO Publ., 1990, 168.
9. *Elsgolts, L.E.*, 1969. *Differentsialnyye uravneniya i variatsionnoye ischisleniye* [Differential equations and the calculus of variations]. Moscow, Nauka Publ., 424.

Надійшла до редакції
19.11.2012 р.

Затверджена до друку
10.12.2012 р.