

УДК 621.87

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ КРАНОВОГО ВІЗКА ІЗ ГНУЧКИМ ПІДВІСОМ ВАНТАЖУ НА ОПТИМАЛЬНИЙ ДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ РУХУ

**В.С. Ловейкін, проф., д.т.н., О.Г. Шевчук, мол. наук. співроб.,
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ**

Анотація. Розв'язано варіаційну задачу з визначення оптимального режиму руху кранового візка із гнучким підвісом вантажу за динамічним критерієм. Проаналізовано вплив співвідношень мас вантажу та візка, частоти власних коливань системи на характер оптимального руху візка. Результати розв'язку показано графічними залежностями.

Ключові слова: крановий візок, вантаж, коливання, оптимальний режим, варіаційна задача.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРАНОВОЙ ТЕЛЕЖКИ С ГИБКИМ ПОДВЕСОМ ГРУЗА НА ОПТИМАЛЬНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ

**В.С. Ловейкин, проф., д.т.н., О.Г. Шевчук, мл. науч. сотруд.,
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев**

Аннотация. Решена вариационная задача по определению оптимального режима движения крановой тележки с гибким подвесом груза по динамическому критерию. Проанализировано влияние соотношений масс груза и тележки, частоты собственных колебаний системы на характер оптимального движения крановой тележки. Результаты решения продемонстрированы графическими зависимостями.

Ключевые слова: крановая тележка, груз, колебания, оптимальный режим, вариационная задача.

PARAMETRIC INFLUENCE ON THE OPTIMAL DYNAMIC MODE OF MOTION OF THE CRANE TROLLEY WITH FLEXIBLE SUSPENSION LOAD

**V. Loveykin, Prof., Dr., Eng. Sc., O. Shevchuk, Jun. res. work.,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv**

Abstract. A variational problem has been solved to determine the optimal motion mode of crane trolleys with flexible load suspension by the dynamic criteria. The impact of load-trolley weight ratios as well as frequencies of natural oscillations made on the nature of the optimal trolley motion has been analyzed. The results have been demonstrated as graphs.

Key words: crane trolley, load, oscillations, optimal mode, variational problem.

Вступ

Під час руху кранового візка вантаж на гнучкому підвісі здійснює коливання [1]. Ці коливання впливають на характер руху візка, а також на надійність роботи крана, його продуктивність та безпечність експлуатації [2]. Тому усунення коливань вантажу під час руху кранового візка є важливою задачею.

Аналіз публікацій

Проблемі усунення коливань присвячено багато праць [3–7]. У цих роботах усунення коливань проводилось під час перехідних режимів руху (пуск, гальмування) або протягом усього періоду руху [8]. Проте у цих роботах аналіз впливу параметрів руху візка на оптимальні режими руху не проводився.

Мета і постановка задачі

Мета дослідження полягає у визначенні оптимального режиму руху кранового візка за динамічним критерієм під час розгону, а також у проведенні аналізу впливу параметрів крана та вантажу масою m , підвішеного на гнучкому канаті довжиною l . На візок діють рушійна сила F і зусилля статичного опору F_0 . Вважаємо, що канат є нерозтяжним, невагомим і абсолютно гнучким, маса вантажу зосереджена в одній точці, коливання вантажу є малими й відбуваються лише в площині руху візка. Маса привідного механізму зведена до маси візка m_1 і зосереджена в його центрі мас. Пружністю елементів привідного механізму нехтуємо, оскільки частоти їх коливань є приблизно на порядок більшими за частоту коливань вантажу і на коливання останнього не впливають. За узагальнені координати цієї моделі взято координати центрів мас візка та вантажу.

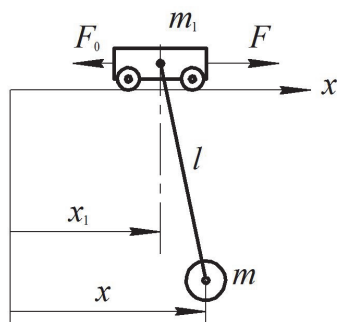


Рис. 1. Двомасова динамічна модель вантажного візка

На основі рівняння Лагранжа другого роду складемо рівняння руху цієї системи

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 = F - \frac{mg}{l}(x_1 - x) - F_0; \\ \ddot{x} = \frac{g}{l}(x_1 - x), \end{cases} \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння.

Із другого рівняння системи (1) запишемо

$$\begin{aligned} x_1 &= x + \frac{l}{g} \ddot{x}; & \dot{x}_1 &= \dot{x} + \frac{l}{g} \ddot{\dot{x}}; \\ \ddot{x}_1 &= \ddot{x} + \frac{l}{g} x^{IV}. \end{aligned} \quad (2)$$

За критерій оптимізації приймемо мінімізацію «енергії» прискорень протягом розгону кранового візка

$$I_V = \int_0^{t_1} V dt \rightarrow \min, \quad (3)$$

де t – час; t_1 – тривалість руху; V – «енергія» прискорень [8].

Для обраної динамічної моделі запишемо вираз для енергії прискорень

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} m_1 \ddot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}^2 = \\ &= \frac{1}{2} m_1 \left(\ddot{x} + \frac{l}{g} x^{IV} \right)^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Умова мінімуму критерію (3) – рівняння Пуассона [9]

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial V}{\partial \dot{x}} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial V}{\partial \ddot{x}} - \\ - \frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial V}{\partial \ddot{\dot{x}}} + \frac{d^4}{dt^4} \frac{\partial V}{\partial x^{IV}} = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Після підстановки виразу (4) до умови (5) будемо мати

$$m_1 \frac{l^2}{g^2} x^{VIII} + 2m_1 \frac{l}{g} x^{VI} + (m_1 + m)x^{IV} = 0. \quad (6)$$

Розділивши усі члени рівняння (6) на коефіцієнт біля старшої похідної та зробивши заміни $\frac{g}{l} = k^2$ та $\frac{m}{m_1} = \bar{m}$, отримаємо

$$x^{VIII} + 2k^2 x^{VI} + (1 + \bar{m})k^4 x^{IV} = 0, \quad (7)$$

де k – частота власних коливань системи; \bar{m} – відношення маси вантажу до маси візка.

Розв'яжемо $x = 0 \ t = 0$: m_1 рівняння (7) для ділянки пуску

$$\begin{aligned} & ; x_1 = 0; \dot{x} = 0; \dot{x}_1 = 0; \\ t = t_1 : & \dot{x} = v; \dot{x}_1 = v; \ddot{x} = 0; \ddot{x}_1 = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Перепишемо умови руху (8), враховуючи рівняння (2)

$$\begin{aligned} t=0: x=0; \dot{x}=0; \ddot{x}=0; \ddot{\ddot{x}}=0; \\ t=t_1: \dot{x}=v; \ddot{x}=0; \ddot{\ddot{x}}=0; x^{IV}=0. \end{aligned} \quad (9)$$

Рівняння (7) розв'яжемо чисельно, задавши такі параметри

$$\begin{aligned} t_1 = 3 \text{ c}; v = 0,5 \text{ м/с}; g = 9,8 \text{ м/с}^2; \\ k = (0,5; 1,0; 2,0); \\ \bar{m} = (0,5; 1,0; 2,0). \end{aligned} \quad (10)$$

Побудуємо графіки лінійних швидкостей візка та вантажу за різних значень параметрів k та \bar{m} .

Із графіків (рис. 2, а та 2, б) видно, що криві швидкості візка та вантажу, за різних співвідношень їх мас, збігаються, а на рис. 2, в дещо розходяться. Крім того, за значення $k=2$ візок, упродовж розгону вантажу, двічі міняє напрямок руху.

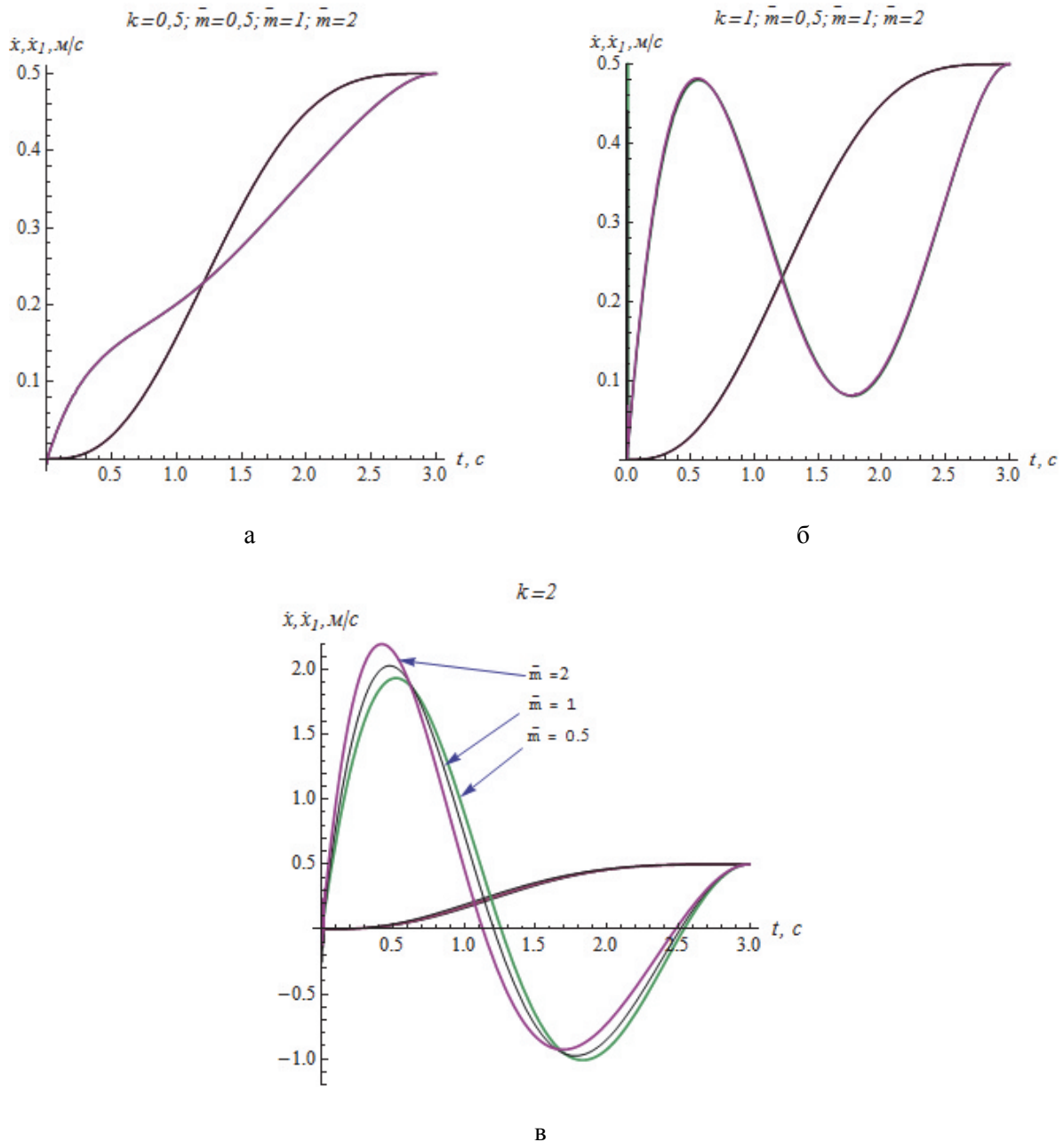


Рис. 2. Графіки зміни швидкості візка та вантажу за різних значень параметрів k та \bar{m}

Побудуємо графіки зміни функціонала (3) як функції змінних k та \bar{m} .

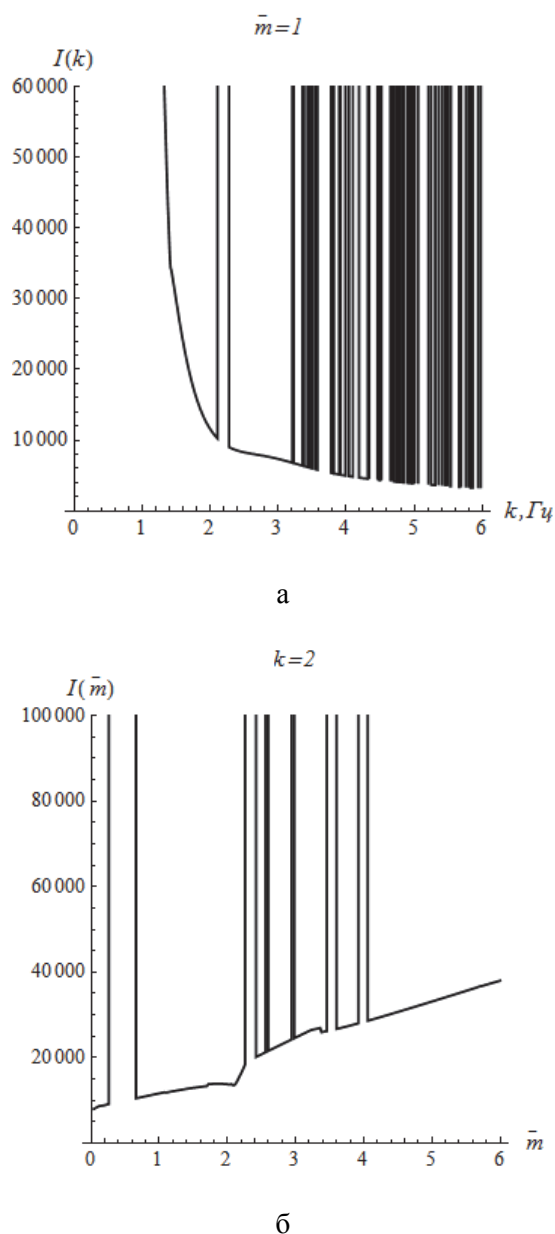


Рис. 3. Графіки залежності функціонала I від параметрів k та \bar{m}

Як видно з графіків, виникають ділянки різкого підвищення значення функціонала I . Зобразимо графіки залежності функціонала $I(k)$ на ділянці $k(2...2,5)$ та $I(\bar{m})$ при $\bar{m}(0...1)$.

Рис. 4 показує, що значення функціонала I може зростати до 21 (рис. 4, а) та 13 порядку (рис. 4, б), тобто оптимальний режим руху візка за таких умов не мінімізує «енергії» прискорень.

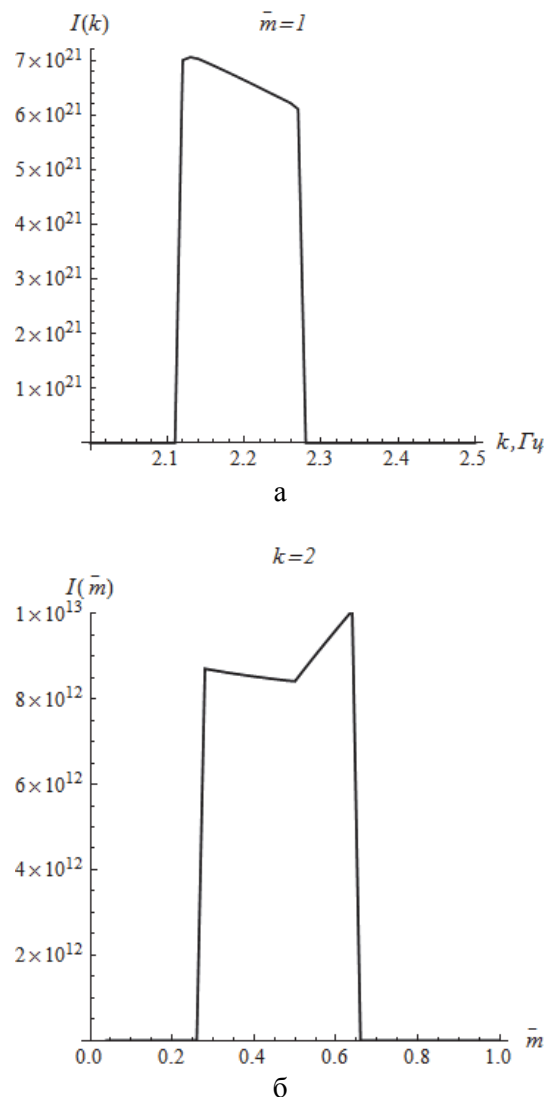


Рис. 4. Ділянки значного зростання значення функціонала I

Висновки

Аналіз впливу параметрів кранового візка з гнучким підвісом вантажу на оптимальний динамічний режим руху показав, що за певних співвідношень довжини підвісу вантажу, часу розгону, мас візка та вантажу, при оптимальному динамічному режимі, під час розгону, візок здійснює реверсний рух (рис. 2, в). Крім того, виникають ділянки значень параметрів k та \bar{m} , на яких оптимізація за динамічним критерієм не дає бажаного результату. Так, при $\bar{m}=1$ та $k=2,2$ значення функціонала I зростає на 17 порядків, або при $\bar{m}=0,5, k=2$ – на 9 порядків від середнього (рис. 3, 4). Для усунення таких недоліків потрібно приймати значення усталеної швидкості візка та періоду розгону відповідно до частоти власних коливань та мас кранового візка та вантажу.

Література

1. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов / Н.А. Лобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
2. Сергеев С.Т. Надёжность и долговечность подъёмных кранов / С.Т. Сергеев. – К.: Техніка, 1968. – 238 с.
3. Перельмутер М.М. Устранение колебаний груза, подвешенного к крановой тележке, воздействием на него электроприводом / М.М. Перельмутер, Л.Н. Пляков // Электромеханика. – 1971. – № 7. – С. 769–774.
4. Аксенов Л.Б. Синтез системы для гашения колебаний груза / Л.Б. Аксенов // Подъемно-транспортные машины. – 1981. – № 10. – С. 66–69.
5. Герасимьяк Р.П. Оптимальное управление крановым механизмом передвижения / Р.П. Герасимьяк, Л.В. Петренко // 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. – 240 с.
7. Ловейкин В.С. Про можливість оптимізації режиму пуску механізму пересування кранового візка за різними критеріями / В.С. Ловейкин, В.Ф. Ярошенко, Ю.О. Ромасевич // Підйомно-транспортна техніка. – 2007. – Вип. 3. – С. 15–23.
8. Ловейкин В.С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин / В.С. Ловейкин. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.
9. Эльгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление / Л.Э. Эльгольц. – М.: Наука, 1969. – 424 с.

Рецензент: В.Г. Солодов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 14 липня 2014 р.