

УДК 621. 87.

*В.С. Ловейкін, д-р. техн. наук, професор КНУБА,
О.Г. Шевчук, студент КНУБА*

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ВИЛЬОТУ ВАНТАЖУ БАШТОВОГО КРАНА З ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОЮ СТІЛОВОЮ СИСТЕМОЮ

Простановка проблеми. Баштові крани з шарнірно-зчленованою стріловою системою (рис.1) використовується для висотного будівництва. Стріла таких кранів складається з основної та допоміжної секцій. Основна секція з'єднана з баштою шарніром і повертається відносно нього на кут 90° з іншого боку до неї приєднана допоміжна секція яка знаходиться завжди в горизонтальному положенні. По допоміжній секції рухається вантажна каретка.

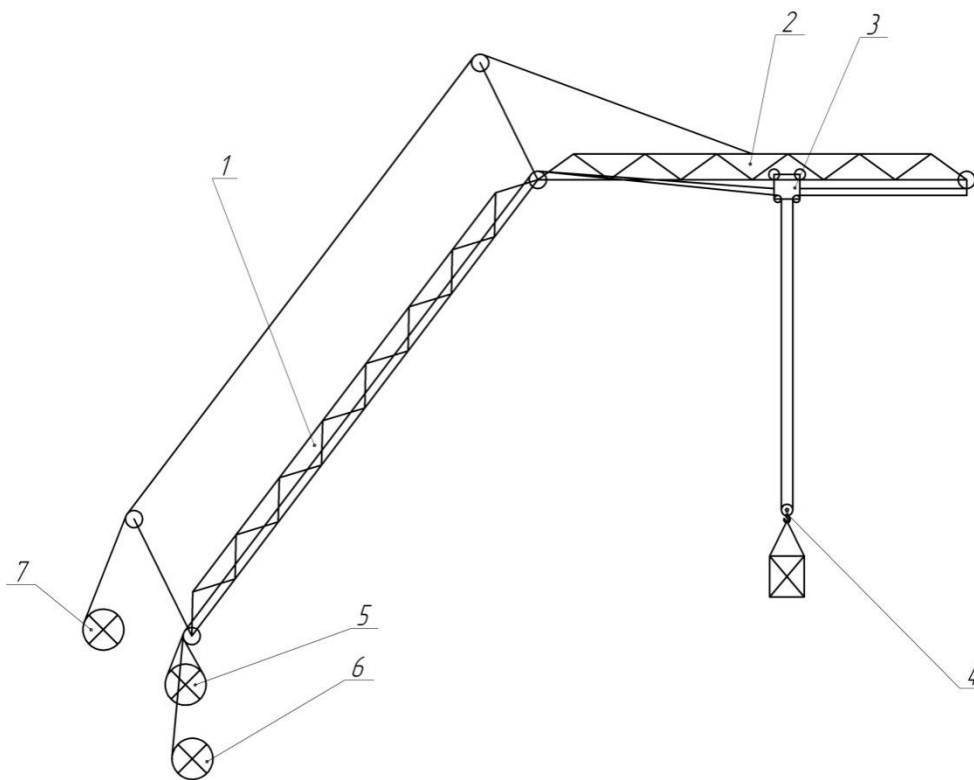


Рис. 1. Шарнірно-зчленована стрілова система баштового крана:

1-основна секція стріли; 2-допоміжна секція стріли; 3-вантажна каретка; 4-захватний пристрій; 5-привід механізму підйому вантажу; 6-привід переміщення вантажної каретки; 7-привід механізму підйому стрілової системи.

В процесі зміни вильоту вантажу за допомогою зміни положення вантажної каретки або зміни положення власне стрілової системи виникають коливання вантажу, які приводять до появи динамічних навантажень [1], що діють на металоконструкцію крана і зменшують продуктивність роботи крана за рахунок потреби часу на заспокоєння коливань вантажу після зупинки [2]. Усунення цих коливань дозволить покращити роботу баштових кранів з шарнірно-зчленованою стріловою системою, підвищити надійність роботи та підвищити продуктивність монтажних та перевантажувальних операцій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемі усунення коливань вантажу в процесі зміни вильоту крана з вантажною кареткою або шарнірно-зчленованою стріловою системою присвячено значну кількість праць, серед яких можна виділити такі [3 – 8]. Однак сумісна дія переміщення вантажної каретки і зміни положення стрілової системи в процесі зміни вильоту вантажу не розглядалась. Крім того, оптимізація зміни вильоту вантажу при переміщенні вантажної каретки здійснювалась тільки за кінематичними критеріями [9]. Разом з цим динамічні критерії оптимізації режиму зміни вильоту вантажу при переміщенні вантажної каретки практично не використовувались, а якщо використовувались, то не мали інтегрального характеру, який враховує рух стрілової системи протягом всього циклу.

Мета роботи. Мета даної роботи полягає в тому, щоб здійснити оптимізацію зміни вильоту вантажу при переміщенні вантажної каретки за рахунок використання загальних інтегральних динамічних критеріїв.

Виклад основного матеріалу. Для оптимізації режиму зміни вильоту вантажу за рахунок переміщення вантажної каретки вибрана двомасова динамічна модель, яка показана на рис. 2. 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 .

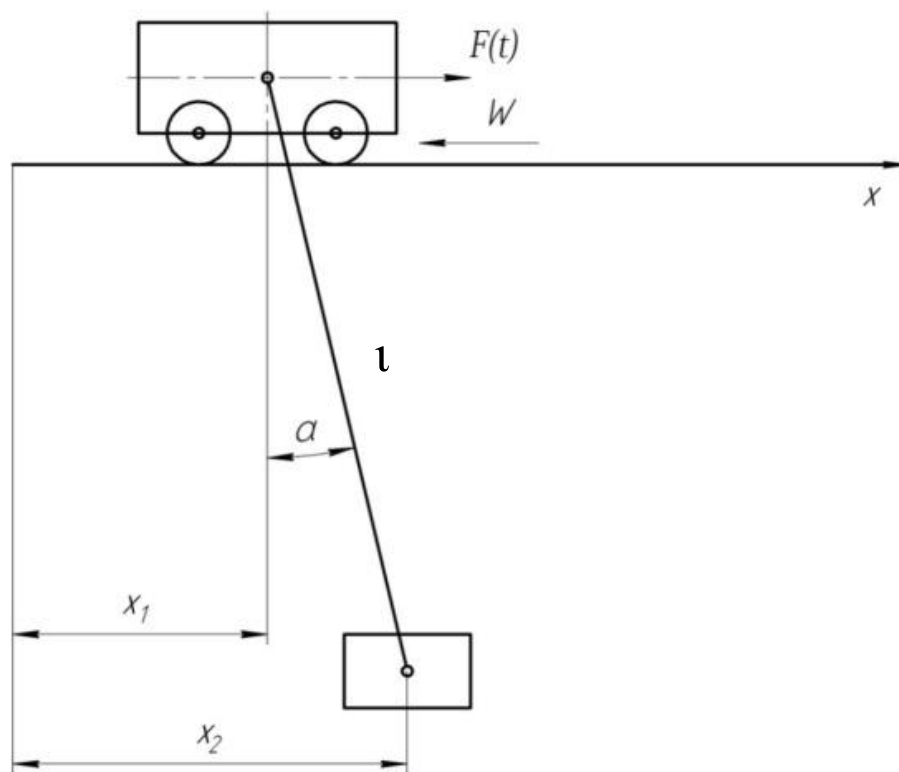


Рис. 2. Двомасова динамічна модель вантажного візка.

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 приводного механізму зведена до маси візка і зосереджена в його центрі мас. Пружністю елементів приводного механізму нехтуємо, оскільки частота їхніх коливань приблизно на порядок більша за частоту коливань вантажу і на коливання останнього не впливають [10]. За узагальнені координати цієї моделі прийняті координати центрів мас вантажної каретки і вантажу відповідно x_1 та x_2 . На основі рівняння Лагранжа другого роду складаємо рівняння руху цієї системи [11].

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 = F(t) - W \operatorname{sign} \dot{x}_1 - \frac{m_2 g}{l} (x_1 - x_2); \\ \ddot{x}_2 = \frac{g}{l} (x_1 - x_2), \end{cases} \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння.

З другого рівняння системи (1) визначимо координату x_1 через координату x_2 та її другу похідну за часом, в результаті чого отримаємо:

$$x_1 = x_2 + \frac{g}{l} \ddot{x}_2. \quad (2)$$

Візьмемо від виразу (2) першу та другу похідні за часом, в результаті чого будемо мати:

$$\dot{x}_1 = \dot{x}_2 + \frac{g}{l} \ddot{x}_2; \quad (3)$$

$$\ddot{x}_1 = \ddot{x}_2 + \frac{g}{l} x_2^{IV}. \quad (4)$$

Підставимо вирази (2) і (4) в перше рівняння системи (1) і проведемо необхідні перетворення. Після чого система (1) в диференціальне рівняння четвертого порядку

$$m_1 \frac{l}{g} x_2^{IV} + (m_1 + m_2) \ddot{x}_2 + W \operatorname{sign} \left(\dot{x}_2 + \frac{l}{g} \ddot{x}_2 \right) = F(t). \quad (5)$$

За критерій оптимізації виберемо середньоквадратичне значення рушійної сили (5) за час руху, яке є інтегралом за часом наступного вигляду

$$I_F = \left\{ \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} [F(t)]^2 dt \right\}^{1/2} = \left\{ \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} \left[m_1 \frac{l}{g} x_2^{IV} + (m_1 + m_2) \ddot{x}_2 + W \operatorname{sign} \left(\dot{x}_2 + \frac{l}{g} \ddot{x}_2 \right) \right]^2 dt \right\}^{1/2}, \quad (6)$$

де t_1 – тривалість циклу руху.

Для визначення цього інтегралу скористуємося оптимальним режимом руху вантажу, які отримано за інтегральними критеріями від функцій «енергії» прискорень вищих порядків [10]:

- ривковий режим (за прискоренням другого порядку): для всього циклу руху при таких крайових умовах $t = 0, x_2 = \dot{x}_2 = \ddot{x}_2 = 0, t = t_1, x_2 = x_{2к}, \dot{x}_2 = \ddot{x}_2 = 0$, отримаємо:

$$x_2 = x_0 + \Delta x \left(\frac{6t^2}{t_1^2} - \frac{15t}{t_1} + 10 \right) \frac{t^3}{t_1^3};$$

$$\dot{x}_2 = 30 \Delta x \left(\frac{t^2}{t_1^2} - \frac{2t}{t_1} + 1 \right) \frac{t^2}{t_1^2};$$

$$\ddot{x}_2 = 60 \Delta x \left(\frac{2t^2}{t_1^2} - \frac{3t}{t_1} + 1 \right) \frac{t}{t_1};$$

$$\ddot{\ddot{x}}_2 = 60 \Delta x \left(\frac{6t^2}{t_1^2} - \frac{6t}{t_1} + 1 \right) \frac{1}{t_1};$$

$$x_2^{IV} = 360 \Delta x \left(\frac{2t}{t_1} - 1 \right) \frac{1}{t_1^4};$$

- за прискоренням третього порядку: для всього циклу руху використаємо такі крайові умови: $t = 0, x_2 = \dot{x}_2 = \ddot{x}_2 = \ddot{\ddot{x}}_2 = 0, t = t_1, x_2 = x_{2к}, \dot{x}_2 = \ddot{x}_2 = \ddot{\ddot{x}}_2 = 0$, які дають:

$$x_2 = x_0 + \dot{x}_{cp} t_1 \left(35 - 84 \left(\frac{t}{t_1} \right) + 70 \left(\frac{t}{t_1} \right)^2 - 20 \left(\frac{t}{t_1} \right)^3 \right) \left(\frac{t}{t_1} \right)^2;$$

$$\dot{x}_2 = 140 \dot{x}_{cp} \left(1 - 3 \left(\frac{t}{t_1} \right) + 3 \left(\frac{t}{t_1} \right)^2 - \left(\frac{t}{t_1} \right)^3 \right) \left(\frac{t}{t_1} \right);$$

$$\ddot{x}_2 = 420 \left(\frac{\dot{x}_{cp}}{t_1} \right) \left(1 - 4t + 5 \left(\frac{t}{t_1} \right)^2 - 2 \left(\frac{t}{t_1} \right)^3 \right) \left(\frac{t}{t_1} \right);$$

$$\ddot{\ddot{x}}_2 = 840 \left(\frac{\dot{x}_{cp}}{t_1^2} \right) \left(1 - 6 \left(\frac{t}{t_1} \right) + 10 \left(\frac{t}{t_1} \right)^2 - 5 \left(\frac{t}{t_1} \right)^3 \right) \left(\frac{t}{t_1} \right);$$

$$x_2^{IV} = 840 \left(\frac{\dot{x}_{cp}}{t_1^3} \right) \left(1 - 12 \left(\frac{t}{t_1} \right) + 30 \left(\frac{t}{t_1} \right)^2 - 20 \left(\frac{t}{t_1} \right)^3 \right) \left(\frac{1}{t_1} \right),$$



де Δx – відхилення вантажу від вертикалі, $\dot{x}_{\text{ср}}$ – середня швидкість руху вантажу.

Для розрахунків режимів руху за таких вихідних даних: $l = 15$ м; $m_1 = 500$ кг; $m_2 = 10000$ кг; $W = 4286$ Н; $x_{2x} = 16$ м; $t_1 = 32$ с визначено інтегральні критерії I_F . Для першого режиму цей критерій приймає значення 2620, а в другому – 2818. Це значить, що з позиції дії силового навантаження перший режим є більш доцільним в порівнянні з другим режимом. Такий режим дозволяє до мінімуму звести дію силового навантаження, а також приводить до мінімізації потужності приводного механізму. Разом з тим такий режим є менш доцільним з позиції відхилення вантажного канату від вертикалі в порівнянні з режимом за прискоренням третього порядку.

Висновки. Аналіз оптимальних режимів руху за прискореннями другого та третього порядку показав, що в одному випадку кращим необхідно признати оптимальний режим за прискоренням другого порядку, а в іншому – за прискоренням третього порядку. Так, оптимальний режим за прискоренням другого порядку приводить до мінімізації дії силових навантажень та потужності приводного двигуна, а за прискоренням третього порядку до мінімізації коливань вантажу.

Література

1. Аксенов Л.Б. Синтез системы для гашения колебаний груза // Подъемно-транспортные машины». – Тула, 1981.- Вып.10. – с.66-69.
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. Черноусько Ф.Л. , Акуленко Л.Д. , Соколов Б.Н. Управление колебаниями. – М. : Наука, 1980. – 384с.
4. Зарецкий А.А. , Портной Н.И. Оптимизация управления механизмами грузоподъемных кранов в переходных режимах // Вест.машиностроения. -1969. - № 8. – с. 14-18.
5. Жилин В.А. , Кибрик Л.И. , Колодный И.Д. Оптимальное управление грузом на гибком подвесе // Приборостроение. – Пермь, 1976. – с. 60-68.
6. Рунов М.Н. Гашение колебаний груза при торможении крановой тележки ступенчатым тормозным моментом // Изв.вузов Машиностроение. – 1970. - № 12. – с. 121-125.
7. Кустовой В.Н. Влияние систем гашения колебаний груза на производительность крана // Экон.орг. и управление на мор.транспорте. – М. , 1985. – с. 125-127.
8. Смехов А.А. , Ерофеев Н.И. Оптимальное управление подъемно-транспортными механизмами. – М. : Машиностроение, 1975. – 239 с.
9. Ловейкін В.С. Синтез оптимальних режимів руху механізмів вантажопідійомних машин: Автореф. дис. . . д-ра тех.наук. – Харків: ХПІ, 1994. – 32 с.
10. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов. М. : Машиностроение, 1987. – 160с.
11. Григоров О.В., Ловейкін В.С. Оптимальне керування рухом механізмів вантажопідійомних машин: Навч.посібник. – К. : ІЗМН, 1997. -264с.