

СПОСІБ ЗРІВНОВАЖЕННЯ ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОЇ СТРІЛОВОЇ СИСТЕМИ БАШТОВОГО КРАНА

АНОТАЦІЯ. Подана розробка способу зрівноваження шарнірно-зчленованої стрілової системи баштового крана за рахунок зміни підвісу вантажу.

Ключові слова: спосіб, зрівноваження, кран, вантаж, стрілова система.

АННОТАЦИЯ. Дана разработка способа уравновешивания шарнирно-сочлененной стреловой системы башенного крана за счет изменения подвеса груза.

Ключевые слова: способ, уравновешивание, кран, груз, стреловая система.

SUMMARY. In paper developed a method of balancing articulated jib tower crane by changing the suspension load.

Key words: method, balancing, crane, load, articulated jib.

Вступ

Баштові крани з шарнірно-зчленованою стріловою системою використовуються для висотного будівництва [1]. Стрілова система таких кранів складається з основної та допоміжної секцій. Основна секція шарнірно-зчленованої стрілової системи 1 приєднується до башти, з іншого боку до неї приєднана головна 2 і по ній рухається вантажний візок 3.

Постановка задачі

Зміна вильоту вантажу таких кранів виконується як при переміщенні візка, так і під час підйому стрілової системи. В процесі зміни вильоту вантажу за рахунок переміщення стрілової системи витрачається значна кількість енергії, оскільки стрілова система є досить масивною металоконструкцією. Тому зрівноваження стрілової системи є важливою задачею.

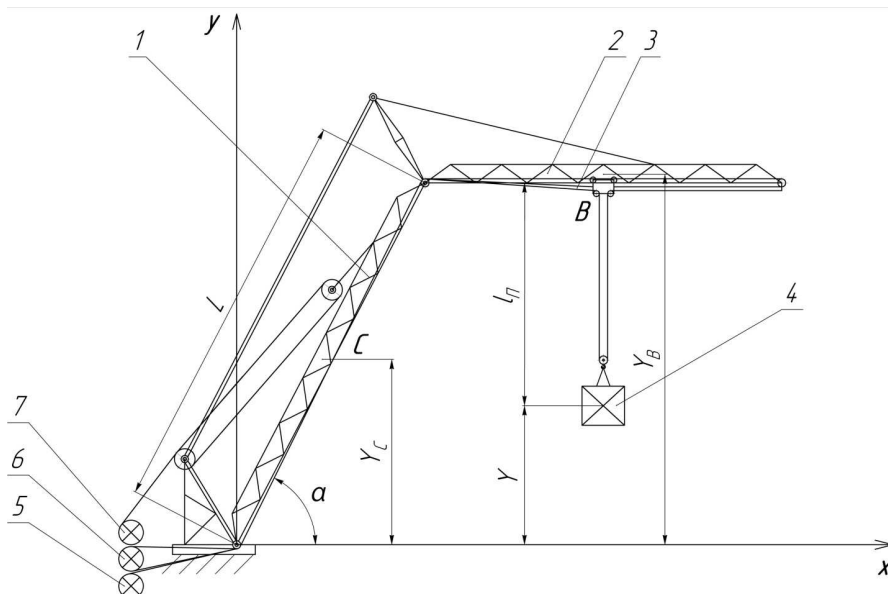


Рис. 1. Шарнірно-зчленована стрілова система баштового крана:

- 1 – основна секція стріли; 2 – допоміжна секція стріли; 3 – вантажний візок;
- 4 – захоплювальний пристрій; 5 – привід механізму підйому вантажу;
- 6 – привід переміщення вантажного візка;
- 7 – привід механізму підйому стрілової системи

Виклад основного матеріалу

При переміщенні стрілової системи відбувається зміна її потенціальної енергії. Визначимо такий закон зміни підвісу вантажу, за якого можливе забезпечення незмінності потенціальної енергії стрілової системи з вантажем під час усього циклу руху. Користуючись схемою, наведеною на рис. 1, запишемо вираз для потенціальної енергії стрілової системи з вантажем:

$$\Pi = m_C \cdot g \cdot Y_C + m_B \cdot g \cdot Y_B + m \cdot g \cdot Y = const, \quad (1)$$

де m_C , m – маси основної секції стріли та вантажу відповідно; m_B – зведена маса візка і головної секції стріли; g – прискорення вільного падіння; Y_C, Y_B, Y – координати центрів мас основної секції стріли, візка і головної секції стріли та вантажу відповідно.

Виразимо координати Y_C, Y_B через кутову координату переміщення основної секції стріли α і підставимо їх у вираз (1)

$$\begin{aligned} \Pi = m_C \cdot g \cdot \frac{L}{2} \cdot \sin \alpha + m_B \cdot g \cdot L \cdot \sin \alpha + \\ + m \cdot g \cdot Y = const, \end{aligned} \quad (2)$$

де L – довжина основної секції стріли.

Спростивши вираз (2), отримуємо:

$$L \cdot \sin \alpha \cdot \left(\frac{m_C}{2} + m_B \right) \cdot g + m \cdot g \cdot Y = \Pi_0. \quad (3)$$

Візьмемо часткову похідну від виразу (3) за координатою α

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_0}{\partial \alpha} = \left(\frac{m_C}{2} + m_B \right) \cdot g \cdot L \cdot \cos \alpha + \\ + m \cdot g \cdot \frac{\partial Y}{\partial \alpha} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

З останнього рівняння отримуємо першу передатавальну функцію координати центра мас вантажу по відношенню до координати основної секції стріли

$$\frac{\partial Y}{\partial \alpha} = - \frac{\frac{m_C}{2} + m_B}{m} \cdot L \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

Домножимо ліву і праву частини рівняння (5) на кутову швидкість основної секції стріли. Після цього будемо мати:

$$\dot{Y} = -\dot{\alpha} \cdot g \cdot \frac{\frac{m_C}{2} + m_B}{m} \cdot L \cdot \cos \alpha. \quad (6)$$

Визначимо первісну функцію виразу (6)

$$Y = - \frac{\frac{m_C}{2} + m_B}{m} \cdot L \cdot \sin \alpha + C, \quad (7)$$

де C – стала величина, яка визначається із початкових умов руху (Y_0, α_0).

З іншого боку координату центра мас вантажу Y можна записати так:

$$Y = L \cdot \sin \alpha - l_{II}, \quad (8)$$

де l_{II} – довжина підвісу вантажу.

Підставимо залежність (8) у рівняння (7) та виконаємо спрощення, в результаті чого отримаємо:

$$l_{II} = L \cdot \sin \alpha \cdot \left(1 + \frac{\frac{m_C}{2} + m_B}{m} \right) + C. \quad (9)$$

Таким чином вираз (9) описує закон зміни довжини підвісу вантажу за якого забезпечується незмінність потенціальної енергії стрілової системи з вантажем. У цьому рівнянні кутова координата переміщення основної секції стріли α залежить від кутової швидкості барабана механізму підйому стріли ω_6 . Визначимо закон зміни кутової координати переміщення основної секції стріли α за постійної кутової швидкості барабана механізму підйому стріли ω_6 .

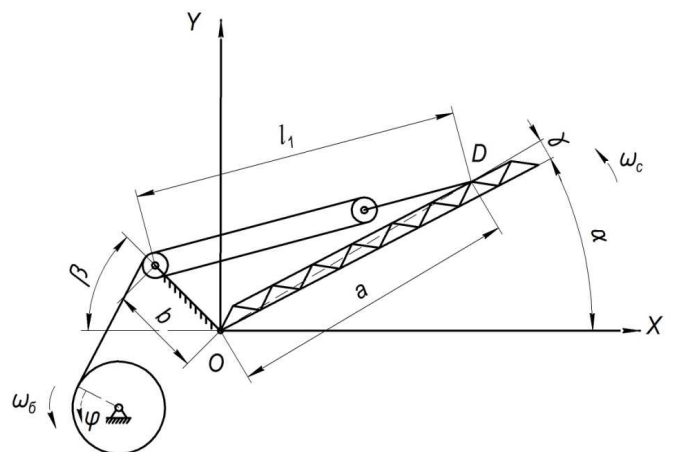


Рис. 2. Кінематична схема механізму підйому стрілової системи

Користуючись схемою, наведеною на рис. 2, визначимо довжину поліспасти

$$l_1 = \sqrt{(a \cdot \cos(\alpha + \gamma) + b \cdot \cos \beta)^2 + (a \cdot \sin(\alpha + \gamma) - b \sin \beta)^2}, \quad (10)$$

де a – відстань від шарніра O до точки кріплення поліспасти D ; b – довжина стояка; β – кут нахилу стояка до горизонталі; γ – кут між нижнім поясом основної секції стріли та прямою OD .

Спростивши рівність (10) отримаємо:

$$l_1^2 = a^2 + b^2 + 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos(\alpha + \beta + \gamma). \quad (11)$$

З рівняння (11) визначимо кутову координату переміщення основної секції стріли α

$$\alpha = \arccos\left(\frac{l_1^2 - a^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot b}\right) - \beta - \gamma. \quad (12)$$

З іншого боку, довжина поліспасти може бути визначена залежністю

$$l_1 = l_{\max} - \omega_0 \cdot t \cdot \frac{R}{i_n}, \quad (13)$$

де l_{\max} – довжина поліспасти при горизонтально розміщеній стрілі; ω_0 – кутова швидкість барабана приводу підйому стрілової системи; R – радіус барабана приводу підйому стрілової системи; i_n – кратність поліспасти механізму підйому стрілової системи.

Підставимо залежність (13) у рівняння (11) і отримаємо закон зміни координати переміщення основної секції стріли при сталій кутовій швидкості барабана

$$\alpha = \arccos\left(\frac{(l_{\max} - \omega_0 \cdot t \cdot \frac{R}{i_n})^2 - a^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot b}\right) - \beta - \gamma. \quad (14)$$

Як приклад розглянемо зрівноваження шарнірно-зчленованої стрілової системи крана Liebherr 140 hc-k з такими характеристиками:

– середня швидкість підйому стріли $\omega_0 = 0,00436 \text{ рад/с}$;

– час підйому стрілової системи $t = 360 \text{ с}$;

– середня швидкість обертання барабана приводу підйому стрілової системи

$\omega_0 = 0,625 \text{ рад/с}$;

– радіус барабана приводу підйому стрілової системи $R = 0,5 \text{ м}$;

– довжина основної секції стріли $L = 26 \text{ м}$;

– максимальна довжина поліспасти $l_{\max} = 27 \text{ м}$;

– кратність поліспасти $i_n = 8$;

– маса основної секції стріли $m_c = 5500 \text{ кг}$;

– зведена маса головної секції стріли та візка $m_B = 2800 \text{ кг}$;

– маса вантажу $m = 2000 \text{ кг}$;

– висота підйому вантажу $H = 100 \text{ м}$.

Побудуємо графіки зміни потенціальної енергії шарнірно-зчленованої стрілової системи з вантажем від часу, при звичайному підйомі та при зрівноваженні за рахунок зміни підвісу вантажу.

Як видно з наведеного графіка, потенціальна енергія шарнірно-зчленованої стріло-

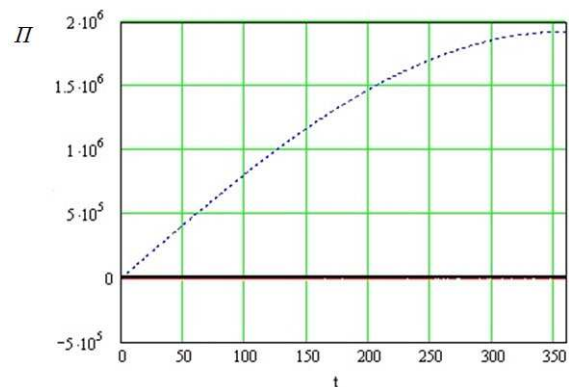


Рис. 3. Графіки залежності потенціальної енергії шарнірно-зчленованої стрілової системи з вантажем

вої системи з вантажем, при зрівноваженні, залишається незмінною під час усього руху.

Побудуємо графік залежності довжини підвісу вантажу від маси вантажу при переміщенні стрілової системи з крайнього нижнього положення у крайнє верхнє. Ця залежність визначається за формулою:

$$l_{II} = L \cdot \left(1 + \frac{m_c + m_B}{2m}\right). \quad (15)$$

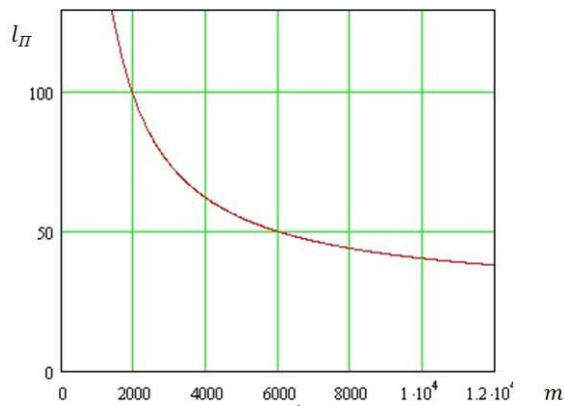


Рис. 4. Графік залежності довжини підвісу вантажу від його маси

З графіка видно що при повному підйомі стрілової системи зрівноваження може бути виконане вантажем маса якого перевищує 2000кг, оскільки довжина підвісу вантажу l_{II} має бути меншою за висоту підйому вантажу краном $H = 100m$.

Для дослідження зміни довжини підвісу вантажу при зрівноваженні шарнірно-зчленованої стрілової системи побудуємо графіки залежності зміни довжини, швидкості і прискорення підвісу вантажу від часу, при незмінній швидкості підйому стріли ($\omega_c = const$) та барабана приводу підйому стрілової системи ($\omega_6 = const$) рис. 5.

Як видно з наведених графіків у зрівноваженій стріловій системі при постійній кутовій швидкості основної секції стріли забезпечуються кращі умови зміни підвісу вантажу: прискорення у початковий момент руху дорівнює нулю, менша початкова швидкість. Для такого режиму визначимо закон зміни кута повороту барабана приводу підйому стрілової системи. Провівши необхідні перетворення рівняння (14) отримаємо залежність зміни кута повороту барабана приводу підйому стрілової системи від часу

$$\varphi = \frac{i_n \cdot (l_{max} - \sqrt{a^2 + b^2 + 2 \cdot a \cdot \cos(\omega_c \cdot t + \beta + \gamma)})}{R} \quad (16)$$

Побудуємо графіки залежності кута повороту швидкості і прискорення барабана приводу підйому стрілової системи від часу (рис. 6).

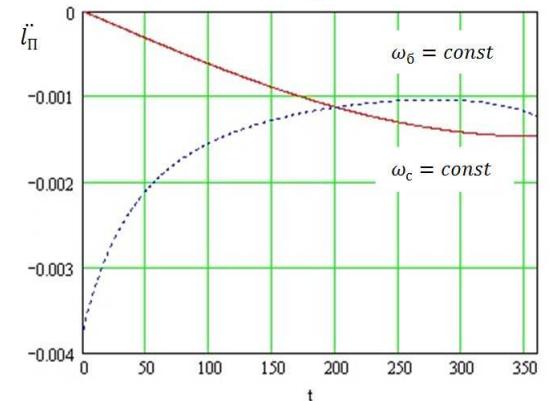
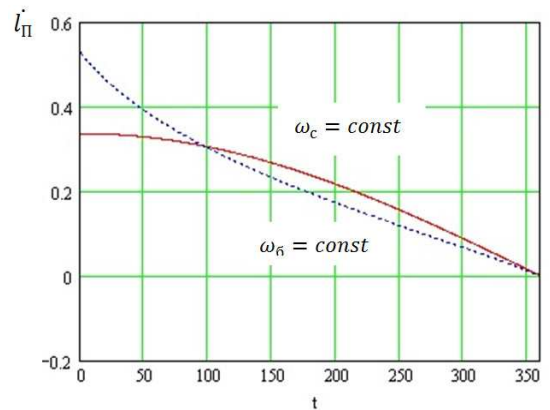
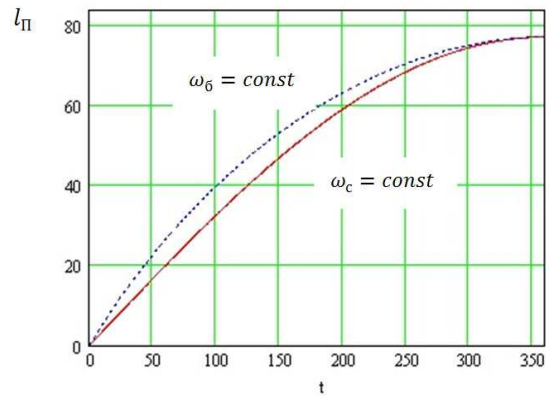


Рис. 5. Графіки залежності зміни довжини, швидкості і прискорення підвісу вантажу від часу

На графіках (рис.6) зображені залежності кута повороту швидкості і прискорення барабана приводу підйому стрілової системи від часу які забезпечують незмінну кутову швидкість основної секції стрілової системи. Як видно з графіка швидкість барабана змінюється за параболічним законом. При зростанні швидкості барабана його прискорення спадає.

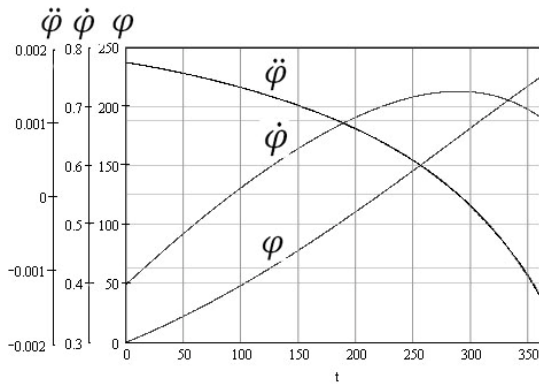


Рис. 6. Графіки залежності кута повороту швидкості і прискорення барабану приводу підйому стрілової системи від часу

Висновки

У роботі розглянуто зрівноваження шарнірно-зчленованої системи за рахунок зміни підвісу вантажу. Виведені рівняння руху ланок зрівноваженої стрілової системи та привідних механізмів. Аналіз отриманих результатів показав що при зрівноваженні стрілової системи за рахунок сумісної роботи механізмів підйому вантажу та зміни вильоту стрілової системи потенціальна енергія системи залишається незмінною під час усього циклу руху. Проте застосовувати такий метод зрівноваження можливо лише за одночасного переміщення стрілової системи та вантажу масою більше 2000кг. Крім того, у всіх випадках зрівноваження, у початковий момент руху швидкість зміни підвісу вантажу не дорівнює нулю. Реалізується таке зрівноваження стрілової системи за рахунок автоматичної системи керування привідних механізмів переміщення стрілової системи та підйому вантажу. Керування привідними двигунами здійснюється за рахунок використання частотних модуляторів.

Література

1. *Prinnells J.* Tower crane in a shipyards. – New Orleans, 1986- 101 pages.
2. *Штейнберг Л.Б.* Об уравновешивании стреловых систем кранов. «Вестник машиностроения», №12, 1967. С. 26 - 27.
3. *Konietschke, W.:* Über Last- und Eigengewichtsausgleich an Wippkranen. Ingenieur-Archiv. Bd 12, 1941 - 25 pages.
4. *Мухеев В.А., Мисюра В.П.* Автоматизированное проектирование уравновешивающих устройств стреловых систем порталных кранов. «Подъёмно-транспортная техника», №3, 2005. С. 15-28.

Рецензент: Ю.Д. Абрашкевич, д.т.н. проф. (КНУБА, Київ)

Отримано: 13.11.2011 р.