

research of processes of drying that appear on joint of different areas of science with use of forward possibilities of technical process are examined.

Drying, intensity, efficiency, power aspects, dry food foods.

УДК 621.87

ОПТИМІЗАЦІЯ РИВКОВОГО РЕЖИМУ РУХУ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ СТІЛОВОГО КРАНА

***В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
В.В. Мельніченко, аспірант****

В статті розглянуто спосіб усунення коливань вантажу під час роботи механізму повороту стрілових кранів. Оптимізація режиму пуску механізму повороту крана проводиться за допомогою методів варіаційного числення. В роботі використано критерій, підінтегральною функцією якого слугує енергія ривків, котрий підлягає мінімізації. За керуючий параметр обрано зусилля, яке діє на механізм повороту зі сторони приводного механізму.

Коливання вантажу, оптимізація, перехідний режим, рух.

Постановка проблеми. Відомо [5], що при роботі стрілових кранів спостерігаються маятникові коливання вантажу, котрі викликають нерівномірний рух ланок механізмів та створюють додаткові динамічні навантаження, що знижує їхню надійність і приводить до незручностей при їх експлуатації, а також збільшують ризик виникнення аварійних ситуацій.

Вирішення проблеми зменшення коливань вантажу на гнучкому підвісі забезпечить більш ефективну експлуатацію кранового обладнання.

Аналіз останніх досліджень. Проблемі усунення коливань вантажу на гнучкому підвісі вже декілька десятків років. Останні дослідження, присвячені даній проблемі, ґрунтуються на використанні математичних теорій оптимальних процесів (принцип максимуму, варіаційне числення). Зауважимо, що сучасні способи усунення коливань вантажу пропонується реалізовувати з допомогою певної керуючої дії на механізм повороту під час перехідних режимів руху (розгін, гальмування).

*Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін

© В.С. Ловейкін, В.В. Мельніченко, 2013

В роботах [1,2,8] за керуючий параметр обрано силову дію на привідний механізм: для усунення коливань вантажу необхідно керувати моментом на валу електродвигуна механізма повороту. Керуюча дія має релейний характер, що призводить до додаткових динамічних навантажень на кран. Цей підхід є неприйнятним з точки зору виникнення значних динамічних навантажень.

За допомогою використання теорії варіаційного числення, як це зроблено в роботі [6], можна забезпечити плавну зміну кінематичних характеристик механізма повороту і усунути коливання вантажу на гнучкому підвісі.

Метою досліджень є оптимізація режиму руху механізма повороту стрілового крана з вантажем під час перехідних процесів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі: 1) обрати динамічну модель механізма повороту стрілового крана і на її основі побудувати математичну модель; 2) обрати критерій оптимізації режиму повороту крана та встановити умови його мінімуму; 3) визначити оптимальний режим розгону механізма повороту і провести аналіз отриманих результатів.

Результати досліджень. Для проведення досліджень приймемо двомасову модель механізма повороту крана (рис. 1), побудова якої передбачає наступні припущення [3]: підвішений вантаж подібний до вільно висячого маятника; вагою тягового елемента нехтуємо; припускаємо відцентрові коливання вантажу в порівнянні з радіальними незначними і їх дію не враховуємо.

Перераховані припущення при дослідженнях дають досить малу похибку, що підтверджується практичними дослідженнями [4]:

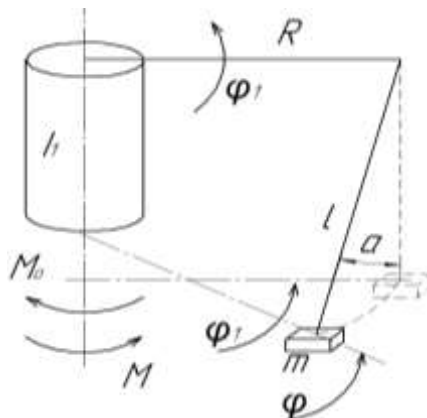


Рис. 1. Розрахункова модель системи «колона-вантаж».

Приведена розрахункова схема (рис.1) описується системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} I_1 \ddot{\varphi}_1 + \frac{mR^2}{l} g (\varphi_1 - \varphi) = M - M_0; & \ddot{\varphi} - \frac{g}{l} (\varphi_1 - \varphi) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де I_1 – момент інерції приводного механізму поворотної колони і стріли, зведений до вісі повороту крана; φ і φ_1 – узагальнені кутові координати зведених мас відповідно вантажу та колони; m – маса вантажу; R – виліт стріли; l – довжина гнучкого підвісу вантажу; g – прискорення вільного падіння; M_0 – статичний момент сил опору, зведений до осі повороту колони; M – рушійний момент на валу електродвигуна, зведений до осі повороту колони; α – кут відхилення вантажного каната від вертикалі.

З другого рівняння системи (1) знаходимо:

$$\varphi_1 = \varphi + \frac{l}{g}\ddot{\varphi}; \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi} + \frac{l}{g}\ddot{\varphi}; \ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi} + \frac{l}{g}\ddot{\varphi}; \ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi} + \frac{l}{g}\ddot{\varphi}. \quad (2)$$

За критерій оптимізації процесу пуску приймемо критерій, підінтегральною функцією якого слугує енергія ривків [6]:

$$\dot{I}_{\dot{M}} = \int_0^{t_1} W dt \rightarrow \min, \quad (3)$$

де t – час; t_1 – тривалість пуску механізму повороту крана.

З першого рівняння системи (1) шляхом диференціювання за часом і з урахуванням залежностей (2) отримуємо:

$$W = \frac{1}{2}I_1 \left(\ddot{\varphi} + \varphi \frac{l}{g} \right)^2 + \frac{1}{2}mr^2\ddot{\varphi}^2. \quad (4)$$

Умова мінімуму критерію (3) визначається із рівняння Ейлера-Пуассона [9]:

$$\frac{\partial W}{\partial \varphi} - \frac{d}{dt} \frac{\partial W}{\partial \dot{\varphi}} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial W}{\partial \ddot{\varphi}} - \frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial W}{\partial \ddot{\varphi}} + \frac{d^4}{dt^4} \frac{\partial W}{\partial \ddot{\varphi}} - \frac{d^5}{dt^5} \frac{\partial W}{\partial \ddot{\varphi}} = 0, \quad (5)$$

яке в даному випадку з урахуванням виразу (4) запишеться таким чином:

$$\varphi + 2\frac{g}{l}\ddot{\varphi} + \left(1 + \frac{mR^2}{I_1}\right)\frac{g^2}{l^2}\varphi = 0. \quad (6)$$

Введемо наступну заміну для частоти власних коливань прийнятої моделі механізму повороту крана:

$$k = \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (7)$$

В результаті чого отримаємо диференціальне рівняння, яке відповідає мінімуму критерію (3) з урахуванням виразу (4):

$$\varphi + 2k^2\ddot{\varphi} + \left(1 + \frac{mr^2}{I_1}\right)k^4\varphi = 0. \quad (8)$$

Для процесу пуску крайові умови мають вигляд:

$$\begin{cases} t=0: \varphi_1 = \varphi = 0, \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi} = 0, \ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi}; \\ t=t_1: \varphi_1 = \varphi, \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi} = \omega_y, \ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi}, \ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi}. \end{cases} \quad (9)$$

Враховуючи залежності (2), виразимо крайові умови координати φ_1 та її похідних через координату φ та її похідні. В результаті чого, будемо мати:

$$\begin{cases} t=0: \varphi = 0, \dot{\varphi} = 0, \ddot{\varphi} = 0, \overset{IV}{\ddot{\varphi}} = 0, \overset{IV}{\varphi} = 0; \\ t=t_1: \dot{\varphi} = \omega_y, \ddot{\varphi} = 0, \overset{IV}{\ddot{\varphi}} = 0, \overset{IV}{\varphi} = 0, \overset{V}{\varphi} = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Для розв'язування отриманого диференціального рівняння (8) з урахуванням крайових умов (10) зручно використати програму Wolfram Mathematica v.8, яка дозволяє шукати символічні розв'язки диференціальних рівнянь [3].

В результаті розв'язку диференціального рівняння (8) для крайових умов пуску механізму повороту (10) і його конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів: $J_1=7200 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; $m=600 \text{ кг}$; $R=2,5 \text{ м}$; $l=4 \text{ м}$; $g=9,8 \text{ м/с}^2$; $M_0=570 \text{ Нм}$; $\omega_{nom}=0,3 \text{ рад/с}$, побудовані графіки кінематичних характеристик пуску колони і вантажу (рис. 2), при різному часові розгону.

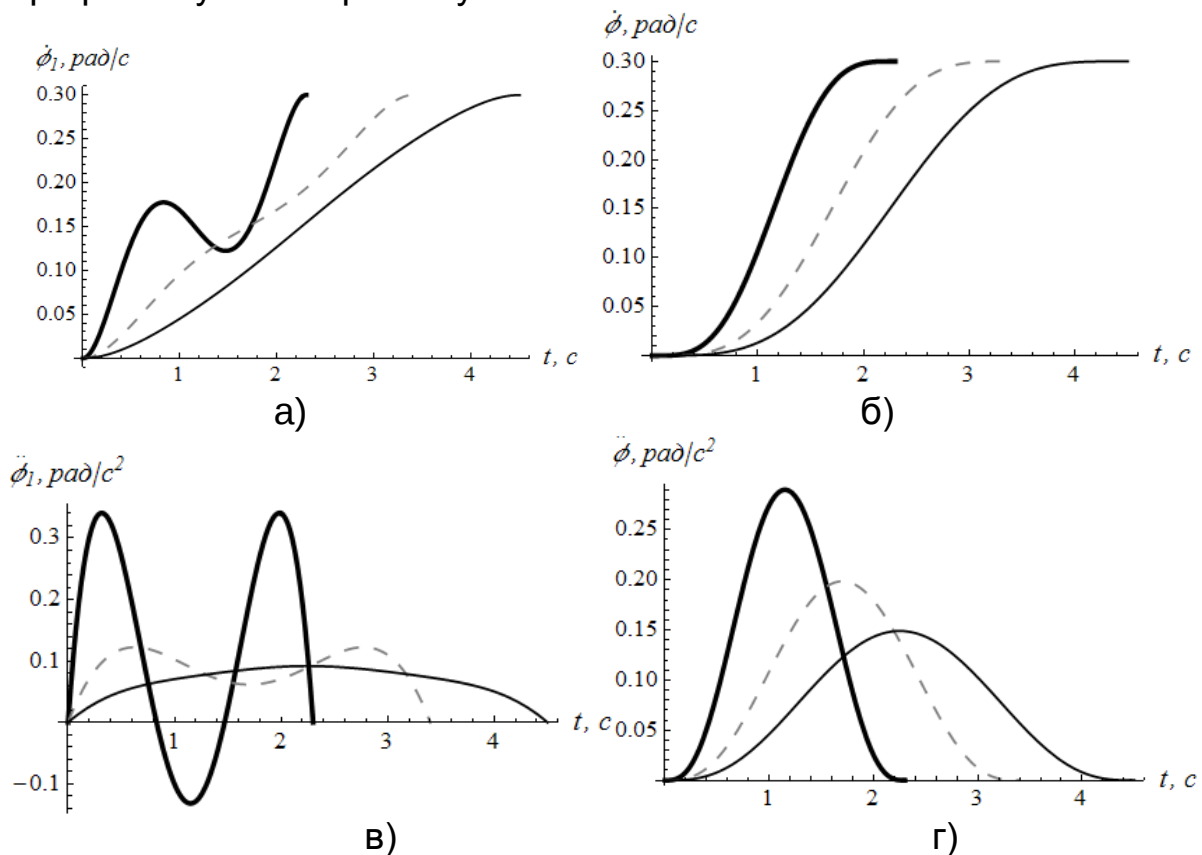


Рис. 2. Графіки функцій кутової швидкості колони (а) та вантажу (б) і кутового прискорення колони (в) та вантажу (г) при різному часові t_1 .

Суцільними товстими лініями зображені кінематичні характеристики пуску при $t_1=2,3\text{с}$ – час розгону, який відповідає часу розгону на природній механічній характеристиці. Штриховими лініями зображені кінематичні характеристики пуску при $t_1=3,4\text{с}$ – час розгону, який дорівнює періоду власних коливань вантажу на гнучкому підвісі. Суцільними тонкими лініями зображені кінематичні характеристики пуску при $t_1=4,5\text{с}$.

Проаналізуємо отримані графіки кінематичних характеристик при різній тривалості пуску. З графіків функцій кутової швидкості колони і вантажу (рис.2,а і 2,б) видно, що при часі розгону $t_1=2,3\text{с}$ швидкість повороту колони має значну амплітуду коливань, що є небажаним, в двох інших випадках швидкості повороту колони є досить плавними, що вказує на переваги пуску при часі розгону $t_1=3,4\text{с}$ та $t_1=4,5\text{с}$. При цьому, максимальне відхилення координат $\phi_1-\phi$ (рис.3,б) при часі $t_1=2,3\text{с}$ становить $0,08\text{ рад}$, а при $t_1=3,4\text{с}$ $0,06\text{ рад}$., при $t_1=4,5\text{с}$ відповідно $0,45\text{ рад}$.

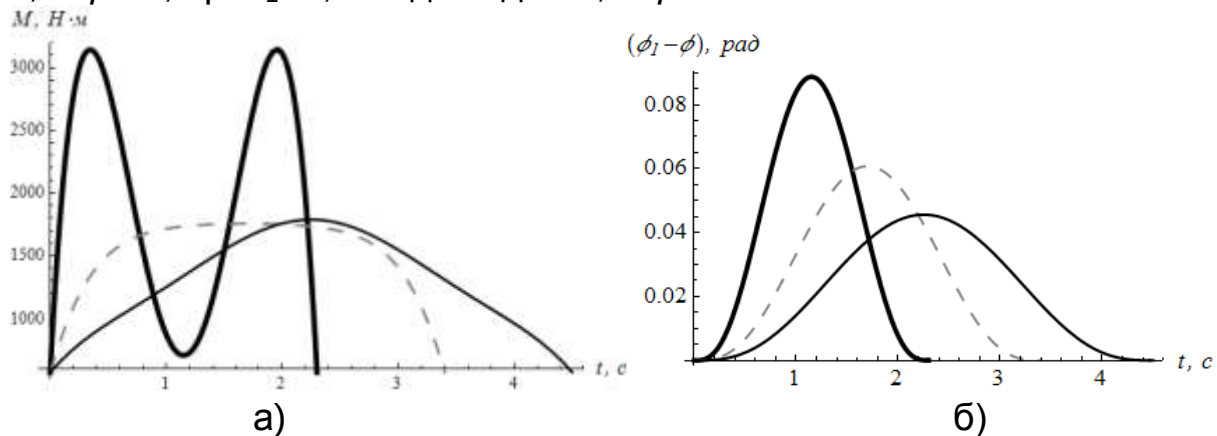


Рис. 3. Графіки зміни рушійного моменту (а) та кута відхилення гнучкого підвісу вантажу від вертикалі (б) при різному часі t_1 .

Аналогічна картина спостерігається при порівнянні прискорень повороту стріли і вантажу (рис.2,в і 2,г). З цих графіків видно, що прискорення стріли при часі $t_1=3,4\text{с}$ та $t_1=4,5\text{с}$, змінюється досить плавно, і не перевищують $0,12\text{ рад/с}^2$ та $0,1\text{ рад/с}^2$, чого не можна сказати про час пуску при $t_1=2,3\text{с}$, де прискорення приймає як додатні так і від'ємні значення (має місце процес гальмування колони) і набуває значень більших за $0,3\text{ рад/с}^2$.

Прискорення вантажу змінюється досить плавно у всіх випадках, зауважимо, що максимальні значення прискорення при $t_1=2,3\text{с}$ більші за максимальні прискорення при $t_1=4,5\text{с}$ майже в два рази, відповідно $0,28\text{ рад/с}^2$ та $0,14\text{ рад/с}^2$, прискорення ж при $t_1=3,4\text{с}$ не перевищують $0,2\text{ рад/с}^2$. Це дало можливість при часі розгону $t_1=4,5\text{с}$ та $t_1=3,4\text{с}$ значно зменшити максимальне значення рушійного моменту (рис.3,а) $M_{\max}=1660\text{ Нм}$ та $M_{\max}=1640\text{ Нм}$, відповідно, в

порівнянні з часом розгону $t_1=2,3\text{с}$, де $M_{\max}=3100\text{ Нм}$. Крім того, в останньому випадку рушійний момент має коливальний характер зміни, що ускладнює можливе мехатронне керування таким приводом. Таким чином, використання критерію, підінтегральною функцією якого слугує енергія ривків, дозволяє при тривалості пуску рівному періоду власних коливань вантажу значно зменшити дію динамічних навантажень і енергетичних витрат в порівнянні з іншими оптимальними режимами за цим же критерієм, але при інших тривалостях пуску.

На рис. 4 показано фазовий портрет для оптимальних режимів пуску при різному часі розгону.

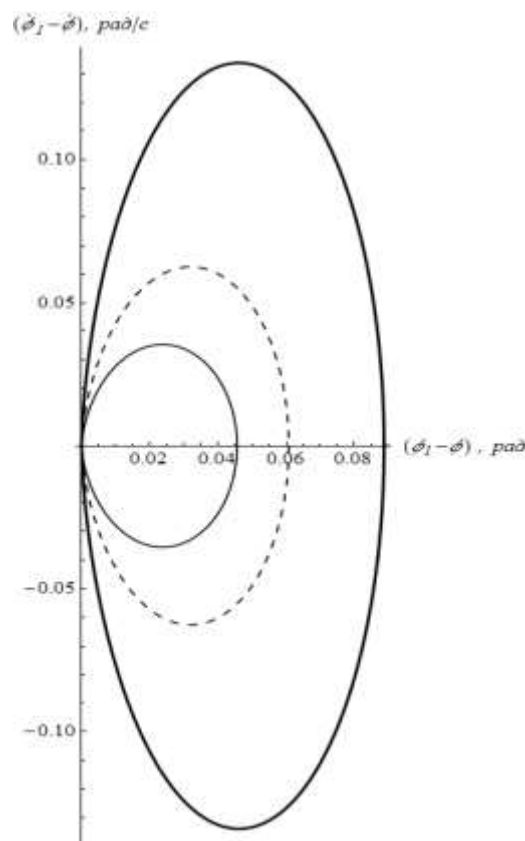


Рис. 4. Фазовий динамічний портрет системи «колона-вантаж».

З отриманих фазових портретів видно, що при різному часові розгону до початку усталеного руху коливання вантажу усуваються. Однак в першому випадку мають місце значно більші відхилення швидкостей та прискорень повороту колони та вантажу в порівнянні з другим та третім випадком процесу пуску. Разом з тим, в першому випадку менша тривалість розгону, що дає можливість підвищити продуктивність роботи крана за рахунок зменшення тривалості всього циклу роботи механізма повороту.

Висновок. Вирішення задачі усунення коливань на гнучкому підвісі шляхом використання варіаційного числення є виправданим,

оскільки знайдена керуюча дія на механізм повороту задовольняє умовам поставленої задачі. Використання обраного критерію оптимальності руху механізма повороту дає змогу отримати закони керування, які забезпечують усунення коливань вантажу та покращують перехідні режими його руху. Для здійснення керування системою «колона-вантаж» обрано привідне зусилля, на яке накладаються певні обмеження. Отримані оптимальні закони реалізуються шляхом використання автоматизованої системи керування механізмом повороту.

Список літератури

1. Герасимяк Р.П. Электроприводы крановых механизмов / Р.П. Герасимяк, В.А. Параил. – М.: Энергия, 1970. – 136 с.
2. Григоров О.В. Вантажопідйомні машини: навч. посібник / О.В. Григоров, Н.О. Петренко. – Х.: НТУ „ХПІ”, 2006. – 304 с.
3. Дьяконов В.П. Mathematica 4.1/4.2/5.0 в математических и научно-технических расчетах / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН - Пресс, 2004. – 696 с.
4. Комаров М.С. Динамика грузоподъемных машин / М.С. Комаров. – М.: Машиностроение, 1953. – 187 с.
5. Лобов Н. А. Динамика грузоподъемных кранов / Лобов Н. А. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
6. Ловейкин В.С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин / В.С. Ловейкин. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.
7. Ловейкін В.С. Оптимізація перехідних режимів руху механізма пересування візка вантажопідйомних машин / Ловейкін В.С., Ярошенко В.Ф., Ромасевич Ю.О. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х., 2007. – № 59, т. 2. – С. 452–460.
8. Смехов А.А. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами / А.А. Смехов, Н.И. Ерофеев. – М.: Машиностроение, 1975. – 239 с.
9. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление / Л.Э. Эльсгольц. – М.: Наука, 1969. – 424 с.

В статье рассмотрены способы устранения колебаний груза при работе подъемно-транспортных машин. Оптимизация режима пуска механизма поворота крана производится с помощью вариационного исчисления. Использован критерий подынтегральной функцией которого служит энергия рывков, который подлежит минимизации. В качестве управляющего параметра выбрано усилие, которое действует на механизм поворота со стороны приводного механизма.

Колебания груза, оптимизация, переходный режим движения.

The method of cargo oscillation reduction, during lifting machines operation has been considered in paper. The start-up mode of crane swinging mechanism optimization has been carried out by means of

variational calculation. The criterion which is integrand energy of spurts. And this criterion has been subject to minimization. The torque moment of driving mechanism acting towards crane swinging mechanism has been selected as control parameter.

Fluctuations of cargo, optimization, connecting mode of motion.

УДК 631.01

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ Й ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РУХУ МЕХАНІЧНИХ ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНИХ СИСТЕМ

***В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
Ю.В. Човнюк, кандидат технічних наук
Н.В. Матухно, інженер***

Наведені диференціальні рівняння, що описують рух дискретно-континуальних систем протягом несталих (перехідних) процесів, які можуть бути використані для вдосконалення й уточнення існуючих інженерних методик розрахунку подібних систем.

Математичне моделювання, дискретно-континуальні системи, оптимізація режимів руху.

Постановка проблеми. Питання математичного моделювання й оптимізації режимів руху механічних дискретно-континуальних систем, їх динамічний розрахунок при проходженні через резонанс обговорювався в численних роботах. При цьому основна увага приділялася розгляду систем з одним ступенем волі (у рамках моделей із зосередженими параметрами), що також дає можливість порівняно просто вивчати механічні системи з кінцевим числом ступенів свободи. Особливо велике значення цього питання при аналізі нестационарних коливань деформованих механічних систем (наприклад, при динамічному розрахунку віброізованих фундаментів під машини, а також у дослідженнях процесів вібраційно-хвильового/віброударного формування різних сумішей).

Серед різних способів гасіння пускозупинного резонансу, як відомо, поряд з удосконаленням звичайних демпферів використовуються динамічні гасителі коливань; розрахунки гасителів вимагають досить повного вивчення нестационарних коливань

© В.С. Ловейкін, Ю.В. Човнюк, Н.В. Матухно, 2013