

4. Привалов О.Е. Эффективность производства молока и факторы, ее определяющие / О.Е. Привалов, Ю.А. Беляев // Естествознание и гуманизм: Сб. науч. тр. – Томск, 2005. – С. 46–48.

5. Ткаченко Т.В. Особливості ринку молока та молокопродуктів України. // Т.В. Ткаченко, О.В. Арнаута // Збірник наукових праць II міжнародної науково-практичної конференції Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2012. – Ч. I. – С. 90–91.

В статье предложены технологические схемы производства молочной продукции, которые внедрены в учебно-производственном подразделении ЮФ НУБиП Украины "Крымский агротехнологический университет" путем создания учебно-научно-производственного животноводческого комплекса, а также учебно-технологической лаборатории переработки молока.

Молочное сырье, молочная продукция, поголовье животных, себестоимость, прибыль.

The paper consisted technological production scheme of dairy products, which are embedded in training and production unit SB NULES of Ukraine «Crimean AgroTechnological University» by creating educational, scientific and industrial livestock complex, as well as educational and technological laboratory processing of milk.

Livestock raw, livestock products, number of animals, average cost, profit.

УДК 621.87

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РУХУ ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОЇ СТРІЛОВОЇ СИСТЕМИ БАШТОВОГО КРАНУ ЗА ДИНАМІЧНИМ КРИТЕРІЄМ

***В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
О.Г. Шевчук, магістр***

В статті розв'язана варіаційна задача по оптимізації режиму руху шарнірно-зчленованої стрілової системи баштового крану за динамічним критерієм при якому усуваються коливання вантажу. Результати розв'язку показані графічними залежностями.

Коливання, вантаж, закон руху, баштовий кран.

© В.С. Ловейкін, О.Г. Шевчук, 2014

Постановка проблеми. Баштові крани з шарнірно-зчленованою стріловою системою використовуються для висотного будівництва [1]. Стрілова система таких кранів складається з основної та допоміжної секцій, що з'єднуються між собою шарнірно (рис. 1). Допоміжна секція знаходиться в горизонтальному положенні (за рахунок приєднаного чотириланкового механізму), по якій рухається вантажний візок.

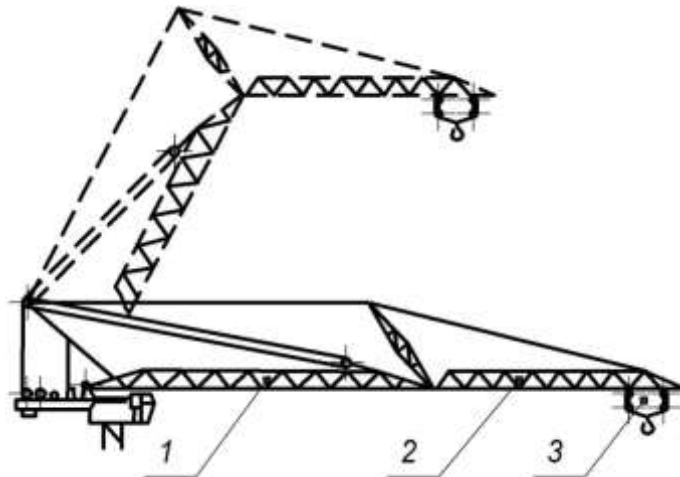


Рис. 1. Шарнірно-зчленована стрілова система: 1 – основна секція; 2 – допоміжна секція; 3 – вантажний візок.

Зміна вильоту в таких кранах здійснюється як при русі візка, так і за рахунок підйому (опускання) стрілової системи. При зміні вильоту за рахунок переміщення стрілової системи виникають коливання вантажу, які тривають протягом усього періоду руху та впливають на нерівномірність роботи механізму підйому стрілової системи, а також на динамічні навантаження в металоконструкції та ланках механізмів [2]. Для усунення таких недоліків необхідно провести оптимізацію режиму руху шарнірно-зчленованої стрілової системи.

Аналіз останніх досліджень. Оптимізації режимів руху механізмів вантажопідйомних машин присвячено багато робіт [3-7]. Так, наприклад, у статті [4] визначені оптимальні режими руху механізму зміни вильоту, які мінімізують відхилення гнучкого підвісу вантажу від вертикалі. В роботі [5] наведено спосіб зменшення коливань вантажу на гнучкому підвісі при роботі механізму повороту стрілового крана під час перехідних процесів шляхом оптимізації режиму пуску і гальмування за динамічним критерієм. У статті [6] вирішена варіаційна задача визначення оптимального режиму руху механізму вантажопідйомної машини з електроприводом постійного струму. В роботі [7] виконано моделювання руху мостового крана де оптимальне приводне зусилля крана реалізовано способом

частотного регулювання електродвигуна. Проведена оцінка ефективності оптимального управління за енергетичними, електричними, динамічними і кінетичними показниками. Встановлені раціональні налаштування приводу для якісної реалізації оптимального управління.

Спираючись на раніше проведені дослідження, запропоновано провести оптимізацію режиму зміни вильоту баштового крана з шарнірно зчленованою стріловою системою при русі стріли за динамічним критерієм.

Мета досліджень – визначити оптимальний режим зміни вильоту баштового крана з шарнірно-зчленованою стріловою системою при роботі механізму підйому стрілової системи, мінімізацією динамічних навантажень та усуненням коливань вантажу.

Результати досліджень. Для проведення оптимізації руху шарнірно-зчленованої стрілової системи з гнучким підвісом вантажу виберемо тримасову динамічну модель (рис. 2). Вона складається зі основної та допоміжної секцій стрілової системи з масами m_0 та m_1 відповідно, з візка масою m_2 і вантажу масою m_3 , підвішеному на гнучкому канаті довжиною l . На основну секцію діє рушійний момент M_p . Вважаємо, що канати нерозтяжні, невагомі і абсолютно гнучкі, маса вантажу зосереджена в одній точці, коливання вантажу малі й відбуваються лише в площині руху візка. Пружністю елементів привідного механізму нехтуємо, оскільки частоти їхніх коливань приблизно на порядок більші за частоту коливань вантажу і на коливання останнього не впливають[8]. За узагальнені координати цієї моделі прийняті кутові координати переміщення шарнірно-зчленованої системи α , а також відхилення підвісу вантажу від вертикалі ν .

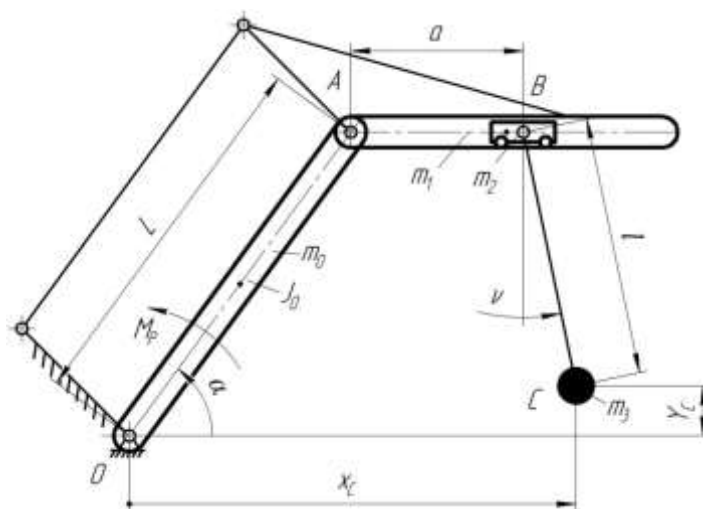


Рис. 2. Динамічна модель руху шарнірно-зчленованої стрілової системи баштового крану.

Визначимо швидкості основних елементів системи. Враховуючи, що вантажний візок не переміщується відносно основної секції шарнірно-зчленованої стрілової системи запишемо:

$$v_B = v_A. \quad (1)$$

Швидкості точок A і C визначаються такими виразами:

$$v_A = \dot{\alpha}L; \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_C = a + L \cos \alpha + l \sin \nu; \\ y_C = L \sin \alpha - l \cos \nu; \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \dot{x}_C = -\dot{\alpha}L \sin \alpha + \dot{\nu}l; \\ \dot{y}_C = \dot{\alpha}L \cos \alpha; \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} v_C &= \sqrt{\dot{x}_C^2 + \dot{y}_C^2} = \sqrt{(-\dot{\alpha}L \sin \alpha + \dot{\nu}l)^2 + \dot{\alpha}^2 L^2 \cos^2 \alpha} = \\ &= \sqrt{\dot{\alpha}^2 L^2 + \dot{\nu}^2 l^2 - 2\dot{\alpha}\dot{\nu}Ll \sin \alpha}, \end{aligned} \quad (5)$$

де L – довжина основної секції стрілової системи.

Запишемо вирази для кінетичної та потенціальної енергій шарнірно-зчленованої стрілової системи з візком і вантажем:

$$T = \frac{1}{2} J_0 \dot{\alpha}^2 + \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \dot{\alpha}^2 L^2 + \frac{1}{2} m_3 (\dot{\alpha}^2 L^2 + \dot{\nu}^2 l^2 - 2\dot{\alpha}\dot{\nu}Ll \sin \alpha), \quad (6)$$

де J_0 – момент інерції основної секції стрілової системи відносно осі обертання.

$$\Pi = \frac{1}{2} m_0 g L \sin \alpha + (m_1 + m_2) g L \sin \alpha + m_3 g (L \sin \alpha - l \cos \nu). \quad (7)$$

Спростивши вираз (7) отримаємо:

$$\Pi = \left\{ \left[\frac{1}{2} m_0 + (m_1 + m_2) + m_3 \right] L \sin \alpha - m_3 l \cos \nu \right\} g. \quad (8)$$

На основі рівнянь Лагранжа другого роду складемо рівняння руху цієї системи.

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} - \frac{\partial T}{\partial \alpha} = M_p - \frac{\partial \Pi}{\partial \alpha}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\nu}} - \frac{\partial T}{\partial \nu} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \nu}. \end{cases} \quad (9)$$

Визначимо усі елементи системи рівнянь (9):

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} &= \frac{1}{2} m_3 (2L^2 \dot{\alpha} - 2lL \cos \alpha \dot{\nu}); & \frac{\partial T}{\partial \dot{\nu}} &= 0; \\ \frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} &= J_0 \dot{\alpha} + L^2 (m_1 + m_2) \dot{\alpha} - m_3 \dot{\nu} l L \sin \alpha; & \frac{\partial T}{\partial \dot{\nu}} &= \frac{1}{2} m_3 (l^2 - 2lL \sin \alpha \dot{\alpha}); \\ \frac{\partial \Pi}{\partial \alpha} &= gL \cos \alpha \left(\frac{m_0}{2} + m_1 + m_2 + m_3 \right); & \frac{\partial \Pi}{\partial \nu} &= m_3 g L \sin \nu. \end{aligned} \quad (10)$$

Підставимо вирази (10) у систему рівнянь (9) та виконаємо математичні спрощення після чого отримаємо:

$$\begin{cases} (J_0 + L^2(m_1 + m_2 + m_3))\ddot{\alpha} - m_3 l L \sin \alpha \ddot{v} = \\ = M_p - gL \cos \alpha \left(\frac{m_0}{2} + m_1 + m_2 + m_3 \right); \\ L(\cos \alpha \dot{\alpha}^2 + \sin \alpha \ddot{\alpha}) - l \ddot{v} = g \sin \nu. \end{cases} \quad (11)$$

Припустимо, що кутова координата переміщення стрілової системи α при зміні вильоту стрілової системи змінюється на кут $\Delta\alpha$, тобто:

$$\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha. \quad (12)$$

де α_0 - значення кута переміщення основної секції стрілової системи на початку періоду руху.

Звідси випливає, що:

$$\dot{\alpha} = \Delta\dot{\alpha}; \quad \ddot{\alpha} = \Delta\ddot{\alpha}; \quad (13)$$

$$\sin \alpha = \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) = \sin \alpha_0 \cos \Delta\alpha + \cos \alpha_0 \sin \Delta\alpha; \quad (14)$$

$$\cos \alpha = \cos(\alpha_0 + \Delta\alpha) = \cos \alpha_0 \cos \Delta\alpha - \sin \alpha_0 \sin \Delta\alpha. \quad (15)$$

Оскільки кути відхилення підвісу вантажу від вертикалі та переміщення шарнірно-зчленованої стрілової системи змінюються в незначних межах тому припустимо, що

$$\sin \nu = \nu; \quad (16)$$

$$\cos \Delta\alpha = 1; \quad (17)$$

$$\sin \Delta\alpha = \Delta\alpha. \quad (18)$$

Перепишемо рівняння руху (11) з врахуванням виразів (12)-(18):

$$\begin{cases} (J_0 + L^2(m_1 + m_2 + m_3))\Delta\ddot{\alpha} - m_3 l L \times \\ \times (\sin \alpha_0 \cos \Delta\alpha + \cos \alpha_0 \sin \Delta\alpha) \ddot{v} = \\ = M_p - gL(\cos \alpha_0 \cos \Delta\alpha - \sin \alpha_0 \sin \Delta\alpha) \times \left(\frac{m_0}{2} + m_1 + m_2 + m_3 \right); \\ (\cos \alpha_0 \cos \Delta\alpha - \sin \alpha_0 \sin \Delta\alpha) L \Delta \dot{\alpha}^2 + \\ + (\sin \alpha_0 \cos \Delta\alpha + \cos \alpha_0 \sin \Delta\alpha) L \Delta \ddot{\alpha} - l \ddot{v} = g \nu. \end{cases} \quad (19)$$

За критерій оптимізації приймемо мінімізацію середньоквадратичного значення рушійного моменту протягом періоду руху:

$$I = \left[\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} M_p^2 dt \right]^{1/2} \rightarrow \min, \quad (20)$$

де t_1 – період руху.

Для усунення коливань вантажу в кінці періоду руху необхідно і достатньо забезпечити такі умови:

$$\nu(t_1) = 0; \quad (21)$$

$$\dot{\nu}(t_1) = 0. \quad (22)$$

Оптимізацію виконаємо за допомогою прямого варіаційного методу[9]. Для цього приймемо базисну функцію зміни кутової координати переміщення основної секції стрілової системи.

У відповідності до поставленої задачі

$$\begin{cases} t = 0 : \Delta\alpha_B = \alpha_0; \Delta\dot{\alpha}_B = 0; \Delta\ddot{\alpha}_B = 0; \\ t = t_1 : \Delta\alpha_B = \alpha_{t_1}; \Delta\dot{\alpha}_B = 0; \Delta\ddot{\alpha}_B = 0. \end{cases} \quad (23)$$

де α_{t_1} – значення кута переміщення основної секції стрілової системи в кінці періоду руху.

Окрім умов (23) закон руху має виконувати три умови (20)-(22), тому в базисній функції має бути три параметри, які відповідають цим умовам. Приймемо базисну функцію у вигляді:

$$\Delta\alpha_B = \Delta\alpha + a_1\Delta\dot{\alpha} + a_2\Delta\ddot{\alpha} + a_3\Delta\ddot{\alpha}, \quad (24)$$

де a_1, a_2, a_3 , – параметри базисної функції.

Перший доданок виразу (24) забезпечує ненульові крайові умови, решта – нульові. Запишемо першу і другу похідну базисної функції:

$$\Delta\dot{\alpha}_B = \Delta\dot{\alpha} + a_1\Delta\ddot{\alpha} + a_2\Delta\ddot{\alpha} + a_3\Delta\alpha^{IV}; \quad (25)$$

$$\Delta\ddot{\alpha}_B = \Delta\ddot{\alpha} + a_1\Delta\ddot{\alpha} + a_2\Delta\alpha^{IV} + a_3\Delta\alpha^V. \quad (26)$$

З умов (23)-(26) випливає, що для визначення базисної функції $\Delta\alpha_B$ змінна $\Delta\alpha$ має забезпечувати такі умови руху:

$$\begin{cases} t = 0 : \Delta\alpha = \alpha_0; \Delta\dot{\alpha} = 0; \Delta\ddot{\alpha} = 0; \Delta\ddot{\alpha} = 0; \Delta\alpha^{IV} = 0; \Delta\alpha^V = 0; \\ t = T : \Delta\alpha = \alpha_{t_1} - \alpha_0; \Delta\dot{\alpha} = 0; \Delta\ddot{\alpha} = 0; \Delta\ddot{\alpha} = 0; \Delta\alpha^{IV} = 0; \Delta\alpha^V = 0. \end{cases} \quad (27)$$

Оскільки умов дванадцять тому розв'яжемо диференціальне рівняння дванадцятого порядку:

$$\Delta\alpha^{XII} = 0. \quad (28)$$

В результаті розв'язку рівняння (28) отримаємо:

$$\Delta\alpha = \frac{(252t^5 - 1386t^4t_1 + 3080t^3t_1^2 - 3465t^2t_1^3 + 1980tt_1^4 - 462t_1^5)}{t_1^{11}} \times (\alpha_0 - \alpha_T)t^6. \quad (29)$$

Підставивши вираз (29) у залежність (24), отримаємо (30). Підставимо вираз (30) у друге рівняння системи (19) і визначимо кутову координату відхилення вантажу від вертикалі для наступних параметрів системи: $T = 25с$; $m_0 = 5500кг$; $m_1 = 2500кг$; $m_2 = 500кг$; $m_3 = 6000кг$; $L = 26м$; $l = 15м$; $g = 9.81м/с^2$; $\alpha_0 = 1,1рад$; $\alpha_T = \pi/2 рад$ і таких початкових умов руху: $\nu(0) = 0$; $\dot{\nu}(0) = 0$.

$$\Delta\alpha_B = \left(\frac{(252t^5 - 1386t^4t_1 + 3080t^3t_1^2 - 3465t^2t_1^3 + 1980tt_1^4 - 462t_1^5)(\alpha_0 - \alpha_T)t^6}{t_1^{11}} + \right. \\ \left. + a_1 \left(\frac{2772t^5(t-t_1)^5(\alpha_0 - \alpha_{t_1})}{t_1^{11}} \right) + a_2 \left(\frac{13860t^4(t-t_1)^4(2t-t_1)(\alpha_0 - \alpha_{t_1})}{t_1^{11}} \right) + \right. \\ \left. a_3 \left(\frac{27720t^3(t-t_1)^3(9t^2 - 9tt_1 + 2t_1^2)(\alpha_0 - \alpha_{t_1})}{t_1^{11}} \right) \right). \quad (30)$$

В результаті розв'язку отримаємо поліном 31-порядку, який занадто громісткий тому у статті його наводити не будемо. Запишемо умовно:

$$v_B = f(a_1, a_2, a_3, t) \quad (31)$$

З першого рівняння системи (19) визначимо рушійний момент та підставимо в нього вирази (30), (31), в результаті чого будемо мати:

$$Mp = -(J_0 + L^2(m_1 + m_2 + m_3))\Delta\ddot{\alpha}_B + lLm_3(\sin\alpha_0 + \cos\alpha_0\Delta\alpha_B)\ddot{v}_B + \\ + gL\left(\frac{m_0}{2} + m_1 + m_2 + m_3\right)(\cos\alpha_0 - \sin\alpha_0\Delta\alpha_B). \quad (32)$$

Після чого визначимо значення підінтегрального виразу критерію (20).

Далі задача зводиться до визначення трьох коефіцієнтів, що входять до базисних функцій (a_1, a_2, a_3) , які б забезпечили такі умови:

$$\begin{cases} v_B(t_1) = 0; \\ \dot{v}_B(t_1) = 0; \\ \frac{\partial I}{\partial a_3} = 0. \end{cases} \quad (33)$$

Перша і друга умови системи рівнянь (33) усувають коливання вантажу в кінці періоду руху шарнірно-зчленованої стрілової системи, а третя забезпечує оптимізацію за критерієм (20).

Розв'язавши систему трансентдентних рівнянь (29), отримаємо такі результати:

$$\begin{aligned} a_1 &= 0.303; \\ a_2 &= 1.367; \\ a_3 &= 1.530. \end{aligned} \quad (34)$$

Побудуємо графіки (рис. 3) швидкості і прискорення основної секції шарнірно-зчленованої стрілової системи, а також графік зміни кутової координати відхилення підвісу вантажу від вертикалі і фазовий динамічний портрет оптимального руху вантажу (рис. 4) та графік (рис. 5) зміни рушійного моменту.

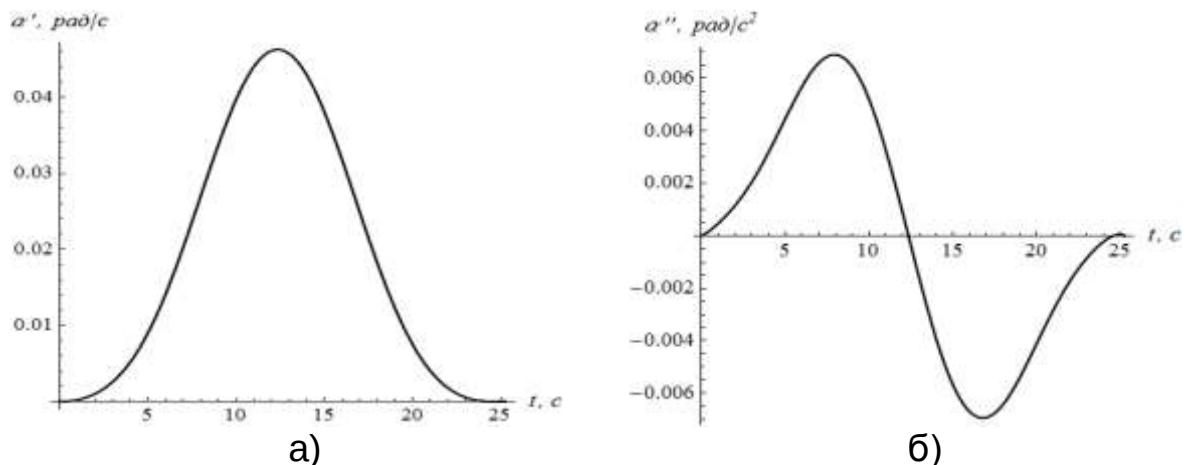


Рис. 3. Графіки зміни швидкості (б) та прискорення (в) основної секції шарнірно-зчленованої стрілової системи.

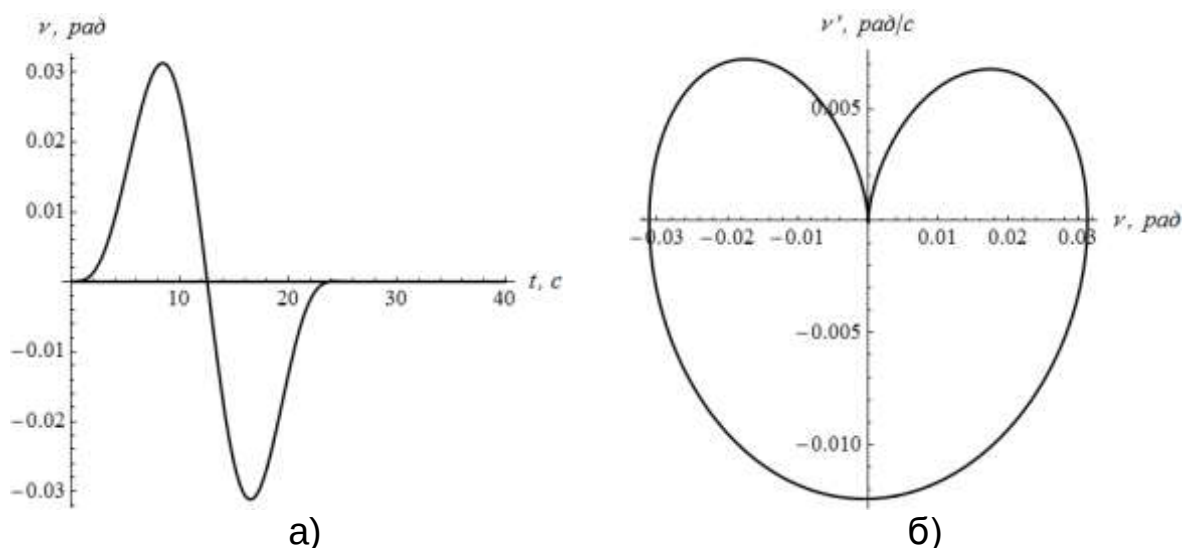


Рис. 4. Графік зміни кутової координати відхилення підвісу вантажу від вертикалі (а) та фазовий динамічний портрет оптимального руху вантажу (б).

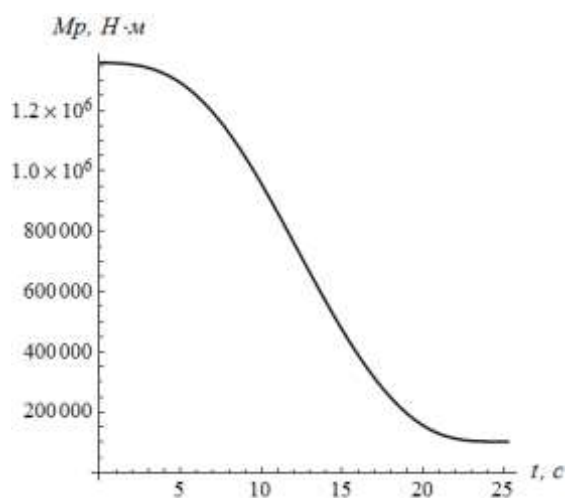


Рис. 5. Графік зміни рушійного моменту.

Як видно з графіків, зображених на рис. 3 рух шарнірно-зчленованої системи на ділянках перехідних процесів відбувається досить плавно, початкові і кінцеві швидкості та прискорення дорівнюють нулю, а також відсутня ділянка усталеного руху.

Під час розгону стрілової системи вантаж дещо відхиляється від точки підвісу (т.В) у протилежну від напрямку руху стрілової системи сторону (рис. 4,а), а під час гальмування відхиляється від точки підвісу за напрямком руху, проте коливання вантажу в кінці руху відсутні (рис. 4,б).

На рис. 5 початкове ненульове значення рушійного моменту зумовлено початковим значенням моменту опору від сил ваги стрілової системи, вантажного візка та вантажу проте при підйомі стрілової системи момент сил опору зменшується, що призводить і до зменшення рушійного моменту.

Висновки

В результаті проведених досліджень вирішена оптимізаційна задача зменшення динамічних навантажень в процесі зміни вильоту баштового крана з шарнірно-зчленованою стріловою системою, яка дозволяє знизити динамічні навантаження, а також усунути коливання вантажу в кінці періоду руху.

Отримані результати можуть бути використані при розробці системи керування приводами баштового крана з шарнірно-зчленованою стріловою системою.

Список літератури

1. Невзоров Л.А. Башенные краны / Л.А. Невзоров. – К.: Высшая школа, 1980. – 326 с.
2. Ловеikin В.С. Аналіз зміни вильоту баштового крана з шарнірно-зчленованою стріловою системою / В.С. Ловеikin, О.Г. Шевчук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2013. – № 82. – С. 20–27.
3. Смехов А.А. Оптимальное управление подъемно-транспортных машин / А.А. Смехов. – М.: Машиностроение, 1975. – 239 с.
4. Ромасевич Ю.О. Оптимізація режиму зміни вильоту вантажу баштового крана за одиничними кінематичними критеріями / Ю.О. Ромасевич, Г.В. Шумілов // Motrol. – 2011. – Vol. 13B. – P. 167–173.
5. Ловеikin В.С. Оптимизация динамического режима поворота стрелового крана / В.С. Ловеikin, В.А. Мельниченко // Motrol. – 2013. – Vol. 15. – №3. – P. 70–75.
6. Ловеikin В.С. Оптимизация уравнения движения механизмов грузоподъемных машин с электроприводом постоянного тока / В.С. Ловеikin, Ю.А. Ромасевич // Motrol. – 2013. – Vol. 15. – №3. – P. 65–69.
7. Ловеikin В.С. Оптимизация режима разгона одномассовой динамической системой с интегральными ограничениями / В.С. Ловеikin, Ю.А. Ромасевич // Motrol. – 2012. – Vol. 14. – №3. – P. 158–163.
8. Ловеikin В.С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин / В.С. Ловеikin. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.

9. Ловейкин В.С. Оптимізація розгону одномасових механічних систем прямим варіаційним методом / В.С. Ловейкин, Ю.О. Ромасевич // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2011. – Вип. 45. – С. 96–102.

В статье решена вариационная задача по оптимизации режима движения шарнирно-сочлененной стреловой системы башенного крана по динамическому критерию, при котором устраняются колебания груза. Результаты решения показаны графическими зависимостями.

Колебания, груз, закон движения, башенный кран.

The paper solved the variation problem to determine mode of motion of articulated jib of tower crane in which removed payload oscillations. The results are demonstrated into graphical view.

Oscillations, load, mode of motion, tower crane.

УДК 662.767.3

СОБІВАРТІСТЬ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ В БІОДИЗЕЛЬ

В.М. Поліщук, кандидат технічних наук

Наведена методика визначення собівартості вирощування насіння олійних культур для виробництва біопалива. Встановлені функціональні залежності собівартості вирощування насіння олійних культур від їх урожайності.

Олійні культури, озимий ріпак, соя, соняшник, біодизель, біопаливо, собівартість, урожайність.

Постановка проблеми. Сировиною для виробництва біодизеля можуть бути олія, отримана із насіння олійних культур (соняшнику, сої, ріцини, льону, сімейства свиріп'яних рослин, до яких належать ріпак, гірчиця, ріжій, олійна редька, свиріпа), жири, отримані із мікроскопічних водоростей, відпрацьована рослинна олія харчових виробництв [1], технічні тваринні жири [2].

© В.М. Поліщук, 2014