

С. Коваленко

Аспірант

А. Свідерський

Доцент, канд. техн. наук

Ю. Човнюк

Доцент, канд. техн. наук

Київський національний університет
будівництва і архітектури,
м. Київ

УДК 621.87

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ СТРІЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ АВТОКРАНІВ

Розглянуто рух висувних секцій автокранів і визначено їхні раціональні кінематичні характеристики.

стріла, автокран, оптимальний режим руху

Несуча здатність стрілових автомобільних кранів при великих вильотах лімітується стійкістю, що залежить, у першу чергу, від маси стріли, а при мінімальних – головним чином міцністю стріли.

Головними чинниками надійності стріли є: переріз, використання складу матеріалів для стріли, раціональний спосіб висування стріли, зменшення коливань за умови зміни вильоту стріли при пуску та гальмуванні. Коливання можуть призвести до руйнування самої телескопічної стріли, зменшують надійність функціонування й міжремонтний цикл крана, збільшують цикл виконання стандартних операцій і не дають змоги виконувати точні позиційні операції, оскільки відбувається розхитування вантажу, що знаходиться на гаку стріли.

Відомі оптимальні режими руху кранів-маніпуляторів, які мають телескопічні стріли. Їх можна відтворити у реальних умовах [3]: динамічний, ривковий і ривковий третього порядку. Закон руху, що забезпечує оптимальний динамічний режим розгону матеріальної точки зі стану спокою до деякої усталеної швидкості V_y , був визначений у [3] й використаний авторами [1] для розрахунку зусиль у привідних гідроциліндрах при оптимальному динамічному режимі руху в процесі пуску маніпулятора. В цій статті телескопічна стріла автокрана подана як система з розподіленими параметрами, котру треба аналізувати, використовуючи підходи [1, 4, 5], але відмовившись від моделі телескопічної стріли як матеріальної точки.

Мета статті полягає у встановленні характеру зміни параметрів швидкості й пришвидшення привідних ланок маніпулятора автокрана з телескопічною стрілою у процесі пуску за допомогою математичної моделі [1] при отриманому оптимальному режимі руху, виходячи з [5, 6].

Розглянемо рух висувної балки крана, який опишемо рівнянням [4]

$$\dot{q}_3 \cdot m_{np} = F - Q, \quad (1)$$

де \dot{q}_3 — пришвидшення висування штока привідного гідроциліндра висувної балки 3; m_{np} — зведена маса рухомих частин, кг; F — сила на штоку гідроциліндра, Н; Q — зовнішня сила опору, яка в нашому випадку харак-

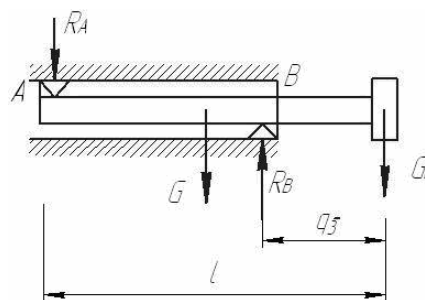


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення сил тертя

теризуватиметься тертям у роликів опорх висувної балки (тут і в подальшому використані позначення з [1]).

Розрахункова схема для визначення сил тертя в опорх висувної балки автокрана наведена на рис. 1.

Використаємо результати праці [1]. Для довжини висування штока гідроциліндра q_3 маємо таке диференціальне рівняння:

$$\ddot{q}_3 m_{np} = F_3 - f \left\{ \frac{G_b q_3 + G q_3 + G_b L}{L - q_3} \right\}, \quad (2)$$

де m_{np} — сумарна маса висувної балки й вантажу,

$\dot{q}_3 = \frac{d^2 q_3}{dt^2}$, t — час, F_3 — сила в гідроциліндрі, f —

коєфіцієнт тертя роликів, по яких рухається висувна балка, G_b — вага вантажу, G — вага висувної балки, L — довжина висувної балки.

Отримане в праці [1] рівняння (2) є нелінійним, проте для цікавого у практичних ситуаціях випадку $q_3/L \ll 1$, тому з (2) можна отримати з урахуванням останньої нерівності лінеаризоване рівняння для q_3 :

$$\ddot{q}_3 m_{np} = F_3 - f \left[2G_b \frac{q_3}{L} + G \frac{q_3}{L} \right] f G_b. \quad (3)$$

Тоді

$$F_3 - f G_b = \ddot{q}_3 m_{np} + f [2G_b + G] \frac{q_3}{L}. \quad (4)$$

Сила F_3 у гідроциліндрі, що потрібна для забезпечення оптимальних режимів руху (зокрема у період пуску маніпулятора, який триває протягом часу t_n), повинна бути мінімальним за величиною, тобто задовольняти критерій [3]

$$\int_0^{t_n} (F_3)^2 dt \Rightarrow \min. \quad (5)$$

Враховуючи ту обставину, що $f \cdot G_b$ — є величиною сталою, критерій (5) можна несуттєво змінити на такий:

$$\int_0^{t_n} \{F_3 - f G_b\}^2 dt \Rightarrow \min. \quad (6)$$

Тоді рівняння Ейлера-Лагранжа, що задовольняє критерій (6), за наявності співвідношення (4) має вигляд

$$\ddot{q}_3 m_{np}^2 + 2f [2G_b + G] \frac{m_{np}}{L} \dot{q}_3 + \frac{f^2 [2G_b + G]}{L^2} q_3 = 0. \quad (7)$$

Розв'язавши (7) за початкових умов:

$$q_3 / t = 0 = \dot{q}_3 / t = 0; \quad \dot{q}_3 / t = t_n = V_y; \quad \dot{q}_3 / b = t_n = 0, \quad (8)$$

тобто знайшовши розв'язок задачі Коші для рівняння (7) за початкових умов (8), знайдемо закон руху штока

гідроциліндра $q_3(t)$, при якому сила, прикладена до нього у період пуску t_n , буде мінімальною (тобто $|F_3| \rightarrow \min$).

Характеристичне рівняння для (7) має вигляд

$$m_{np}^2 \lambda^4 + 2\lambda^2 f [2G_b + G] \frac{m_{np}}{L} + \frac{f^2 [2G_b + G]^2}{L^2} = 0. \quad (9)$$

Корені рівняння (9) мають є таким:

$$\begin{cases} \lambda_{1,2} = +i \left\{ \frac{f [2G_b + G]}{m_{np} \cdot L} \right\}^{1/2}; \\ \lambda_{3,4} = -i \left\{ \frac{f [2G_b + G]}{m_{np} \cdot L} \right\}^{1/2}, \quad i^2 = -1. \end{cases} \quad (10)$$

Тоді загальний розв'язок має вигляд

$$q_3(t) = (C_1 + C_2 t) \sin \Omega t + (C_3 + C_4 t) \cos \Omega t, \quad (11)$$

де
$$\Omega = \left\{ \frac{f [2G_b + G]}{m_{np} \cdot L} \right\}^{1/2}. \quad (12)$$

В (11) константи $C_j, j = \overline{1,4}$ можна знайти з початкових умов (8), а саме:

$$\begin{cases} C_3 = 0 : C_1 \Omega + C_4 = 0; \\ C_2 (\sin \Omega t_n \cos \Omega t_n) + C_1 \Omega \cos \Omega t_n + \\ + C_4 (\cos \Omega t_n - \Omega t_n \sin \Omega t_n) = V_y; \\ \Omega C_2 \cdot \cos \Omega t_n + C_2 \Omega \cos \Omega t_n + \\ + (C_1 + C_2 t_n) (-\Omega^2) \sin \Omega t - 2C_4 \Omega \sin \Omega t_n - \\ - C_4 t_n \Omega^2 \cos \Omega t_n = 0. \end{cases}$$

Можна спростити систему (13) до такого вигляду:

$$\begin{cases} C_3 = 0 : C_1 \Omega + C_4 = 0; \\ C_1 \Omega \cos \Omega t_n + C_2 (\sin \Omega t_n + \Omega t_n \cos \Omega t_n) + \\ + C_4 (\cos \Omega t_n - \Omega t_n \sin \Omega t_n) = V_y; \\ C_1 \Omega \sin \Omega t_n + C_2 (\Omega t_n \sin \Omega t_n - 2 \cos \Omega t_n) + \\ + C_4 (2 \sin \Omega t_n + \Omega t_n \cos \Omega t_n) = 0. \end{cases} \quad (14)$$

З системи (14) легко знайти значення констант C_1, C_2, C_4 . Введемо позначення

$$\Delta = (\Omega^2 t_n \sin \Omega t_n) \cdot (\Omega t_n \sin \Omega t_n - 2 \cos \Omega t_n) + \Omega (\sin \Omega t_n + \Omega t_n \cos \Omega t_n)^2. \quad (15)$$

Тоді маємо:

$$\begin{cases} C_1 = \frac{V_y (\Omega t_n \sin \Omega t_n - 2 \cos \Omega t_n)}{\Delta}; \\ C_2 = \frac{V_y (\Omega \sin \Omega t_n + \Omega^2 t_n \cos \Omega t_n)}{\Delta}; \\ C_4 = \frac{V_y \Omega (\Omega t_n \sin \Omega t_n - 2 \cos \Omega t_n)}{\Delta}. \end{cases} \quad (16)$$

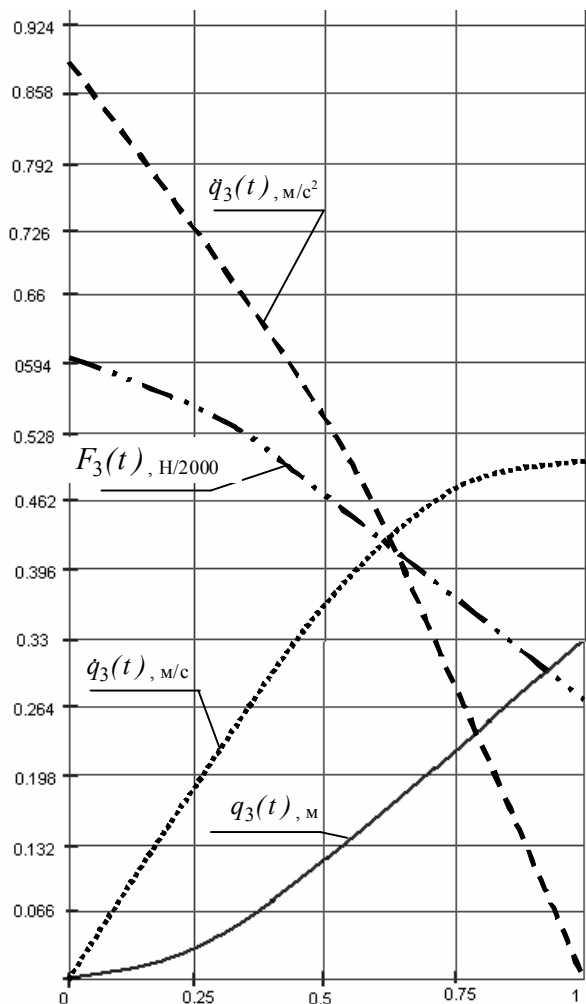


Рис. 2. Кінематичні та силові характеристики руху штока гідроциліндра

Числові розрахунки проведені для таких значень параметрів: $m_{np}=1280$ кг; $f=0,05$; $L=1$ м; $G_b=9800H$; $G=2744$ H; $t_n=1$ с; $V_y=0,5$ м/с. Тоді $\Omega=0,934$ рад/с.

На рис. 2 зображені закон руху $q_3(t)$, закон зміни швидкості штока гідроциліндра висувної балки, тобто $\dot{q}_3(t)$, закон зміни пришвидшення штока гідроциліндра висувної балки, тобто $\ddot{q}_3(t)$. Зрозуміло, що всі вказані закони побудовані для оптимального закону руху $q_3(t)$ з врахуванням співвідношень (11), (12), (16). Використовуючи (3), можна знайти при відомому $q_3(t)$ закон зміни у часі $F_3(t)$ (рис. 2):

$$F_3(t) = m_{np}\ddot{q}_3 + fG_b + f[2G_b + G]\frac{\dot{q}_3}{L}. \quad (17)$$

Висновки. 1. Встановлений оптимальний динамічний режим руху в процесі пуску маніпулятора автокрана, який дає можливість мінімізувати величину сили, прикладену до штока гідроциліндра висувної балки з боку привідного механізму.

2. Встановлені оптимальні кінематичні характеристики: швидкість і пришвидшення штока гідроциліндра висувної балки при оптимальному динамічному режимі пуску в процесі зміни вильоту вантажу.

3. Наведений графік і визначена сила, яка має мінімальну величину протягом процесу пуску маніпулятора автокрана.

4. Отримані результати у подальшому можуть слугувати для уточнення й удосконалення інженерних методів розрахунку сил у привідних гідроциліндрах при оптимальному динамічному режимі руху в процесі пуску маніпуляторів автокранів (з телескопічною висувною стрілою).

Література

1. Ловейкін В.С., Міщук Д.О. Розрахунок зусиль в привідних гідроциліндрах при оптимальному динамічному режимі руху в процесі пуску маніпулятора // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2007. – вип. 69. – с. 14-18.
2. Гоберман Л.А. Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин. – М.: Стройиздат, 1988.
3. Григоров О.В., Ловейкін В.С. Оптимальне керування рухом механізмів вантажопідійомних машин. – К:13 МН, 1997. – 264с.
4. Лойцянский Л.Г., Лурье А.Н. Курс теоретической механики: В 2-хт. Т.ІІ: Динамика. – М.: Наука, 1983. – 640с.
5. Юрай Иринг. Проектирование гидравлических и пневматических систем. – Л.: Машиностроение, 1983. – 363с.
6. Бронштейн И.Н, Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М: Наука, 1986. – 544с.

Отримана 18.05.09

S. Kovalenko, A. Svidersky, Yu. Chovhuk

Research of motion of equipment of jib cranes

Kyiv national university of building and architecture

Motion of sliding sections of jib cranes and certainly rational kinematics descriptions is in-process considered.