



УДК 621.86

В.Б. Залізник, аспірант КНУБА

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ БАГАТОСЕКЦІЙНОЇ ТЕЛЕСКОПІЧНОЇ СТРИЛИ ПІДЙОМНИКА

АНОТАЦІЯ. Розглянуто коливання багатосекційної телескопічної стріли автомобільного підйомника в площині дії бокового навантаження.

ANNOTATION. *Vibration multisection telescopic boom lift car action in the plane lateral loads.*

Актуальність теми. В сучасному будівництві значно збільшується кількість поверхів житлових будинків, що потребує застосування підйомних механізмів для обслуговування та проведення робіт в умовах аварійних ситуацій. Тому виникає потреба в розробці підйомників зі значною висотою підйому. Внаслідок цього при використанні багатосекційної телескопічної стріли можливі коливання, що знижують надійність стріли, неточність позиціонування. В роботі досліджується режим роботи п'ятисекційної телескопічної стріли із урахуванням власних і вимушених коливань.

Аналіз існуючих досліджень. Дослідженню робочого процесу кранів присвячено ряд робіт [1-5], в яких розглянуто вплив перерізу стріли на стійкість її роботи [1,2], способи керування переміщенням стріли в умовах мінімізації енергетичних витрат [4], ефективність використання підйомних механізмів кранів в [5].

Результати зазначених досліджень, а також роботи прикладної теорії механічних коливань [6-8] покладені в основу даних досліджень в частині методології та методів досліджень.

Методика та результати досліджень. Методикою досліджень передбачено розгляд секційної телескопічної стріли, що складається із трьох секцій із наступної адаптацією на багатосекційний підйомник за умови, що отримані аналітичні результати використовуються для пари наступних рухомих секцій із їхніми геометричними розмірами і розрахунковими значеннями реакцій навантаження. За таким підходом розрахунки, що отримані в результаті відхилення кожної пари рухомих секцій складаються. Наприклад, якщо телескопічна стріла складається із трьох рухомих секцій, то із спільного переміщення, отриманого умовно для двох пар рухомих секцій (із результату відхилення оголовка відносно нерухомої секції при наявності, наприклад, чотирьох, як в нашому випадку, рухомих секцій), необхідно відняти амплітуду переміщення від вимушених і власних коливань тої секції, яка наближена до кінцевої (оголовка) стріли.

Виходячи із цього припущення розглянемо рух телескопічної стріли (рис. 1).

Амплітуду бічного навантаження F_0 приймаємо із умови малості кута відхилення вантажу за формулою:

$$F_0 = m_g g V_k L / h \omega_g, \quad (1)$$

Тоді навантаження:

$$F = F_0 \sin \omega_g t, \quad (2)$$

де ω_g - частота коливань вантажу; V_k - кутова швидкість обертання крана.

Рівняння руху телескопічної стріли отримаємо із рівняння Лангранжа II роду [6]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i, \quad (3)$$

де T , Π – кінетична і потенційна енергія системи;

q_i , \dot{q}_i – узагальнені координата і швидкість стріли;

Q_i – узагальнена сила, що відповідає узагальненій координаті.

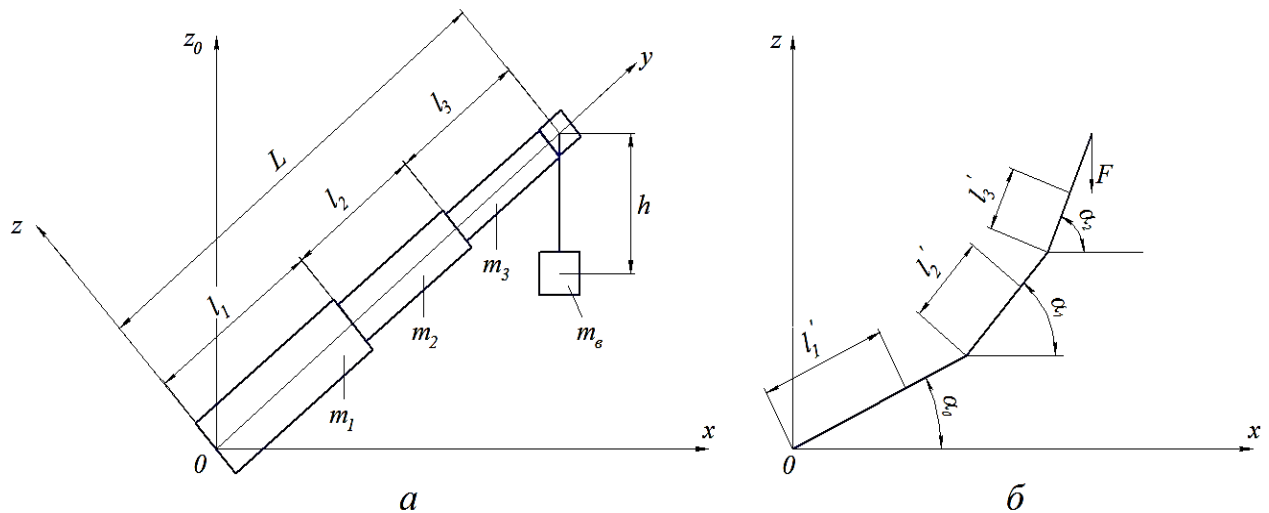


Рисунок 1. Схема телескопічної стріли підйомника :

а – конструктивна;

б – переміщення секції стріли;

$l_1 \dots l_3$ – довжини секцій телескопічної стріли; $l'_1 \dots l'_3$ – координати центрів ваги секцій; L – загальна довжина телескопічної стріли; m_1, m_2, m_3, m_e – маси нерухомої, рухомої секцій і вантажу відповідно; h – висота підвісу вантажу; $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ – кути відхилення секцій стріли; F – навантаження на стрілу.

Кінетична енергія телескопічної стріли виражається квадратичною формою [6]:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ik} \dot{q}_i \dot{q}_k, \tag{4}$$

де a_{ik} – постійні коефіцієнти, що мають назву квазіінерційних коефіцієнтів.

Потенційна енергія телескопічної стріли [6]:

$$\Pi = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n c_{ik} q_i q_k, \tag{5}$$

де c_{ik} – квазіпружні коефіцієнти.

Енергетична складова, що визначає розсіяння енергії приймається, як це було зазначено вище, лінійними функціями швидкості, описується залежністю [8]:

$$D = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \epsilon_{ik} \dot{q}_i \dot{q}_k, \tag{6}$$

де ϵ_{ik} – коефіцієнт розсіяння (дисипації) енергії.

Після визначення енергії (4), (5), (6), а також для віртуальної роботи зовнішньої сили, отримуємо рівняння для схеми (див. рис. 1,а):

$$\left. \begin{aligned} a_{22} \ddot{q}_2 + a_{23} \ddot{q}_3 + \epsilon_{22} \dot{q}_2 + \epsilon_{23} \dot{q}_3 + c_{22} q_2 + c_{23} q_3 &= Q_2; \\ a_{33} \ddot{q}_3 + a_{32} \ddot{q}_2 + \epsilon_{33} \dot{q}_3 + \epsilon_{32} \dot{q}_2 + c_{33} q_3 + c_{32} q_2 &= Q_3; \end{aligned} \right\} \tag{7}$$

де

$$\left. \begin{aligned} a_{22} &= m_2 \bar{l}_2^2 + m_3 \bar{l}_3^2 + J_2; a_{23} = a_{32} = m_3 \bar{l}_2 \bar{l}_3; a_{33} = m_3 \bar{l}_2^2; \\ c_{22} &= c_2 + c_3; c_{23} = c_{32} = -c_2; c_{33} = c_3; \\ \epsilon_{22} &= \frac{1}{2} (\epsilon_2 + \epsilon_3); \epsilon_{23} = \epsilon_{32} = -\frac{1}{2} \epsilon_3; \epsilon_{33} = \frac{1}{2} \epsilon_3; \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

Враховуючи, що дисипативні сили впливають на величину амплітуди коливань телескопічної стріли (особливо, в можливому резонансному режимі, що для умов роботи не бажано), а оскільки на форму коливань цей вплив не значний [6], то для загального аналізу



рівняння (7) можна дещо спростити, тобто прийняти, що $e_{22} = e_{23} = e_{33} = 0$. Тоді для вимушених коливань стріли будемо мати рівняння:

$$\left. \begin{aligned} a_{22}\ddot{q}_2 + a_{23}\ddot{q}_3 + c_{22}q_2 + c_{23}q_3 &= q_0 l_2 \\ a_{33}\ddot{q}_3 + a_{32}\ddot{q}_2 + c_{33}q_3 + c_{32}q_2 &= q_0 l_3 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де q_0 - повздовжнє навантаження на секцію стріли.

Якщо у якості узагальнених координат взяти кути α_1 і α_2 (див. Рис. 1,б) то замінюючи координати q на α отримаємо рішення рівняння (9) стосовно кутів:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= A \sin \omega t; \\ \alpha_2 &= B \sin \omega t, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

де

$$\left. \begin{aligned} A &= N_2 / N; B = N_3 / N; \\ N &= a_2 \omega^4 - d_2 \omega^2 + c_2; \\ N_2 &= (-c_{33}l_2 + c_{23}l_3)p_0 \omega^2 + (c_{33}l_2 - c_{23}l_3)p_0; \\ N_3 &= (-c_{22}l_3 + c_{32}l_2)p_0 \omega^2 + (c_{22}l_2 - c_{32}l_2)p_0; \\ d_2 &= (c_{22}c_{33} + c_{33}c_{23} - c_{32}c_{23} - c_{23}c_{32}); \\ c_2 &= (c_{22}c_{32} - c_{23}c_{32}), \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Переміщення оголовка телескопічної стріли під дією бокового навантаження від коливання вантажу визначиться:

$$Z_{\max \text{ вил.}} = l_2 \alpha_1 + l_3 \alpha_2, \quad (12)$$

де α_1 і α_2 визначаються із (10).

Розглянемо вільні коливання телескопічної стріли використовуючи рівняння (9) із заміною q на α :

$$\left. \begin{aligned} a_{22}\ddot{\alpha}_1 + a_{23}\ddot{\alpha}_2 + c_{22}\alpha_1 + c_{23}\alpha_2 &= 0; \\ a_{33}\ddot{\alpha}_1 + a_{32}\ddot{\alpha}_2 + c_{33}\alpha_1 + c_{32}\alpha_2 &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Вирішення для вільних коливань приймаємо у вигляді [7]:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= A \sin \omega_{01} t; \\ \alpha_2 &= B \sin \omega_{02} t, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

де ω_{01} , ω_{02} - частоти власних коливань рухомих секцій стріли [8]:

$$\omega_{0_{1,2}}^2 = \frac{d}{2} \pm \sqrt{\frac{d^2}{2} - c}, \quad (15)$$

де

$$\left. \begin{aligned} d &= \frac{(c_{22}c_{33} - c_{23}c_{33} - c_{32}c_{23} - c_{23}c_{32})}{(c_{22}c_{33} - c_{23}c_{32})}; \\ c &= \frac{(c_{22}c_{33} - c_{23}c_{32})}{(c_{22}c_{33} - c_{23}c_{32})}. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Кути переміщення рухомих секцій:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= A_1 \sin \omega_{01} t + A_2 \sin \omega_{02} t; \\ \alpha_2 &= \lambda_1 A_1 \sin \omega_{01} t + \lambda_2 A_2 \sin \omega_{02} t. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

При вільних коливаннях секцій телескопічної стріли відхилення оголовка знаходиться за формулою:

$$x_{\max \text{ вил.}} = l_1 \bar{\alpha}_1 + l_2 \bar{\alpha}_2, \quad (18)$$

де $\bar{\alpha}_1$ і $\bar{\alpha}_2$ розраховуються із урахуванням перших членів рівняння (17).

Практичне застосування отриманих залежностей (12)-(18) потребують параметрів телескопічної стріли підйомника.

Висновки.

1. Отримані аналітичні залежності для визначення вимушених і вільних коливань секцій телескопічної стріли підйомника в умовах бічного навантаження.
2. Числові розрахунки за отриманими аналітичними залежностями дасть можливість визначити реальні умови ефективної роботи підйомника та запропонувати режим, що виключає негативний вплив коливань стріли.

Література

1. Коваленко С.О. Аналіз чисельних результатів дослідження впливу різноманітних факторів на розв'язок задач оптимізації секцій стріли автокрана/ С.О. Коваленко, І.І. Назаренко, А.Т. Свідерський // Техніка будівництва: -К.: КНУБА, 2009. - №23.- С.70-78.
2. Ряхин В.А. Нагруженность крановых телескопических стрел / В.А. Ряхин, Ю.В. Гривезирский, Л.В. Зайцев и др. – Строительные дорожные машины, 1984. - №6.- С. 9-10.
3. Андриенко Н.Н. Повышение несущей способности стреловых самоходных кранов за счет оборудования телескопической стрелы / Н.Н. Андриенко, Н.В. Волчек, В.Л. Хасилев // Строительные дорожные машины, 1987. - №6.- С. 9-10.
4. Ловейкін В.С. Про можливість оптимізації режиму пуску механізму пересування кранового візка за різними критеріями / В.С. Ловейкін, В.Ф. Ярошенко, Ю.О. Ромасевич // Підйомно-транспортна техніка.- Дніпропетровськ : ДПТ, 2007.- Вип.3. –С. 15-23.
5. Назаренко І.І. Вантажопідйомна техніка (конструкції, ефективне використання, сервіс) / І.І. Назаренко, Ф.О. Німко, І.І. Заліско, С.О. Коваленко та інші // К.: Видавничий Дім “Слово”. 2010. – 400с.
6. Гробов В.А. Теория колебаний механических систем / В.А. Гробов. – К.: Высшая школа. Главное изд-во, 1982. – 183с.
7. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем. Навчальний посібник (2-е видання). –К.: Видавничий Дім “Слово”. 2010. – 440с.
8. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я.Г. Пановко // - М.: Машиностроение, 1976. – 320с.