

ПОБУДОВА ЗАКОНІВ РУХУ МЕХАНІЗМІВ ЗМІНИ ВІЛЬОТУ ВАНТАЖУ І ПОВОРОТУ БАШТОВОГО КРАНА

Ю. О. РОМАСЕВИЧ, доктор технічних наук, професор

В. С. ЛОВЕЙКІН, доктор технічних наук, завідувач кафедри конструювання
машин і обладнання

Д. І. ВЕЛИКОІВАНЕНКО, магістр

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: romasevichyuriy@ukr.net

[https://doi.org/10.31548/dopovidi2\(102\).2023.020](https://doi.org/10.31548/dopovidi2(102).2023.020)

Анотація. У статті поставлено задачу синтезу траєкторії переміщення вантажу при обминанні перешкоди. Траєкторія була отримана на основі вимоги про плавність зміни напрямку руху вантажу. Виходячи із дискретних положень вантажу було знайдено положення ланок механізмів повороту баштового крана та зміни вильоту вантажу. Надалі отримано закони зміни швидкості руху цих механізмів. Проаналізовано результати, які отримані на кожній ітерації розрахунку, та встановлено, що кінцевий результат задовольняє вимогам плавності руху вантажу, забезпечує плавний розгін і гальмування механізмів, що підтверджено графічними залежностями та чисельними даними.

Ключові слова: закон руху, баштовий кран, перешкода, зміна вильоту вантажу, поворот крану

Актуальність. Роль вантажопідйомних кранів у сучасних виробничих процесах важко переоцінити. Тому для того, щоб підвищити кількісні і якісні показники виробництва необхідно забезпечити високу продуктивність роботи вантажопідйомних машин. Один із підходів до цієї проблеми полягає у переміщенні вантажу по оптимальній траєкторії, яка повинна забезпечити відсутність небезпеки зіткнення вантажу із об'єктами (перешкодами) у робочій зоні крана.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідники І. Гутьєррес і Х. Колладо [1] вивчали динаміку баштового крану, використовуючи додаткову відтяжку для уникнення зіткнень з перешкодами.). Це дозволяє зменшити кількість помилок при переміщенні вантажу, що позитивно вплинуло на уникнення вантажем перешкод. Хе Чен, Пен Ян та Яньлі Ген у науковій публікації [2] розробили траєкторії руху візка крана та підйому/опускання вантажу для уникнення перешкод. У результаті було запропоновано метод планування

Ромасевич Ю. О., Ловейкін В. С., Великоіваненко Д. І.

траєкторії для уникнення перешкод, який забезпечує швидке та точне позиціонування візка та усунення маятникових коливань вантажу. Автори Акіра Іномата та Йошіюкі Нода в праці [3] оптимізували траєкторію руху вантажу для зменшення витрат енергії та мінімізації коливань візка. У результаті було запропоновано метод планування траєкторії для уникнення перешкод, який забезпечує швидке та точне позиціонування візка та усунення коливань вантажу. Каната Мацусава, Йошіюкі Нода та Акіхіро Канешіге [4] запропонували метод планування траєкторії з поетапною оптимізацією, ураховуючи уникнення перешкод та маятникові коливання вантажу. В результаті отримано розв'язок задачі, яке дозволяє зменшити витрати енергії та мінімізувати коливальну компоненту руху візка. Ютака Хірасава та Кацухіко Хаясакі[5] запропонували метод планування траєкторії для вантажного крана з уникненням перешкод. Результати також показали, що запропонований метод може ефективно бути використаний для зменшення часу перебування крана в зоні ризику. Хідеакі Котаке та Хіросі Янагава[6] запропонували метод планування траєкторії руху вантажного крана з уникненням перешкод. Використовуючи технології штучного інтелекту автори розробили

оптимальне планування траєкторії та уникнення перешкод з високою точністю та ефективністю. Автори Хіросі Янагава, Томоя Като та Хідеакі Котаке[7] запропонували метод планування траєкторії з уникненням перешкод для вантажних кранів з використанням генетичних алгоритмів.

Аналіз цих праць показав актуальність питання уникнення перешкод при використанні вантажопідйомних кранів. Особливо активно ці дослідження проводяться у азійських країнах, де відбувається активна забудова мегаполісів.

Мета дослідження полягає в побудові законів руху механізмів зміни вильоту вантажу і повороту крану, які відповідають руху вантажу по траєкторії, яка забезпечує відсутність небезпеки зіткнення вантажу із перешкодами.

Методи. На першому етапі роботи було виконано постановку задачі. Задано вихідні дані для проведення розрахунків, якими є координати початку траєкторії $x_0=13$ м, $y_0=8$ м; координати перешкоди, яку необхідно оминати, $x_{obs}=12$ м, $y_{obs}=14$ м; координати кінця траєкторії $x_{fin}=5$ м, $y_{fin}=16$ м. Відлік системи координат розміщений у місці стоянки баштового крана.

Маючи координати відповідних точок з точки зору досягнення

Ромасевич Ю. О., Ловейкін В. С., Великоіваненко Д. І.

мінімальної довжини траєкторії ділянки, які описуються наступними доцільно траєкторію руху вантажу функціями: представити як дві прямолінійні

$$y_{first\ part} = y_{obs} + (y_0 - y_{obs}) \frac{x_{obs} - x}{x_{obs} - x_0} \quad (1)$$

$$y_{second\ part} = y_{fin} + (y_{obs} - y_{fin}) \cdot \frac{x_{fin} - x}{x_{fin} - x_{obs}} \quad (2)$$

Вище наведені координати дають відповідних точок та траєкторію руху змогу побудувати графік розміщення вантажу (рис. 1).

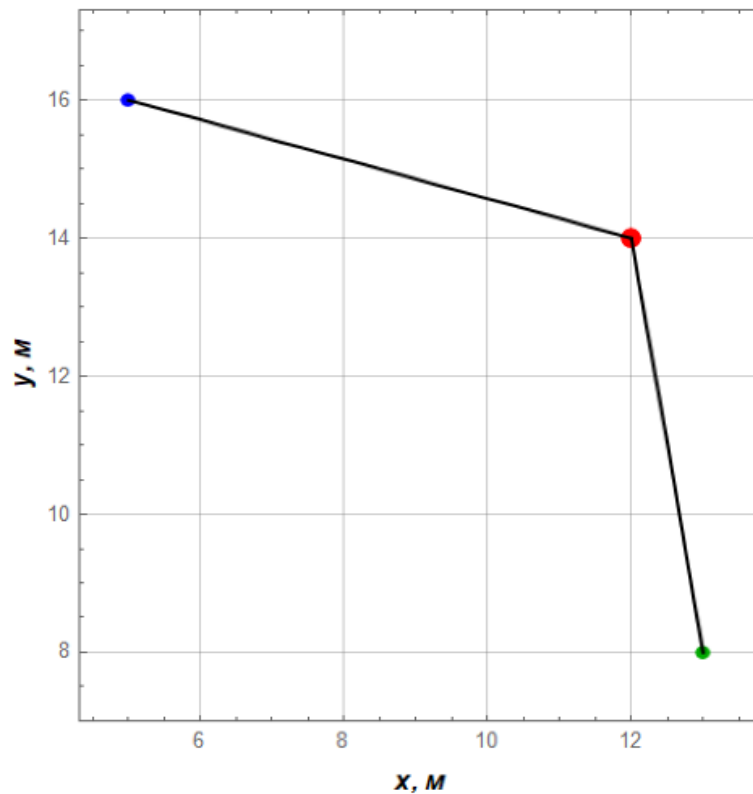


Рис. 1. Траєкторія руху вантажу у першому наближенні

Надалі проведено дискретизація ділянок (1) та (2), яка передбачає перетворення функцій неперервних змінних у функції дискретних змінних, по яких вихідні неперервні функції можуть бути відновлені із заданою точністю. Роль дискретних відліків виконують, як правило, квантовані

значення функцій у дискретній шкалі координат. В даному випадку поділ прямої ділянки руху крану виконувався із кроком 1 мм для забезпечення точності подальших розрахунків. Для дискретизації ділянок траєкторії руху вантажу (1) та (2)

Ромасевич Ю. О., Ловейкін В. С., Великоіваненко Д. І.

потрібно насамперед визначити – довжина першої ділянки: довжини окремих ділянок:

$$L_1 = \sqrt{(x_{obs} - x_0)^2 + (y_{obs} - y_0)^2} = \sqrt{(12 - 13)^2 + (14 - 8)^2} = 6,083 \text{ м} \quad (3)$$

– довжина другої ділянки:

$$L_2 = \sqrt{(x_{fin} - x_{obs})^2 + (y_{fin} - y_{obs})^2} = \sqrt{(5 - 12)^2 + (16 - 14)^2} = 7,28 \text{ м} \quad (4)$$

Отже, для першої ділянки обраний через можливість реалізації траєкторії кількість точок складає 6083, а для другої – 7280.

Швидкість руху вантажу по траєкторії, згідно умов задачі, становить $v=0,2$ м/с, а крок дискретизації за часом $\Delta t=0,1$ с визначається за формулою:

$$T_{заг} = \frac{L_{заг}}{v} = \frac{L_1 + L_2}{v} = \frac{13,363}{0,2} = 66,815 \text{ с} \quad (5)$$

де $L_{заг}$ – загальна довжина траєкторії руху вантажу у першому наближенні. Можемо отримати

$$u = \frac{T_{заг}}{\Delta t} = \frac{66,815}{0,1} \approx 668 \quad (6)$$

Із використанням виразів (1) та (2) отримано координати точок на траєкторії руху вантажу. Їх можна представити у наступному вигляді:

$$P_i (x_i, y_i), i \forall 0...u \quad (7)$$

Надалі проводимо розрахунок узгоджених положень візка (лінійна координата вздовж стріли) та стріли (кутова координата). Тобто переходимо від декартових координат (координати робочої зони крана) до

$$r_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \quad (8)$$

$$\varphi_i = \arctg\left(\frac{x_i}{y_i}\right) \quad (9)$$

де r_i та φ_i – дискретні координати положення візка на стрілі (відносно осі її обертання) та кутове положення стріли. У результаті отримано масиви положень візка і стріли. Для розрахунку дискретних значень

Ромасевич Ю. О., Ловейкін В. С., Великоіваненко Д. І.
швидкостей візка і повороту крана
було використано поліноміальний
фільтр Савицького-Голя [8].

Розраховані дискретні швидкості
механізмів представлені на графіку
(рис. 3).

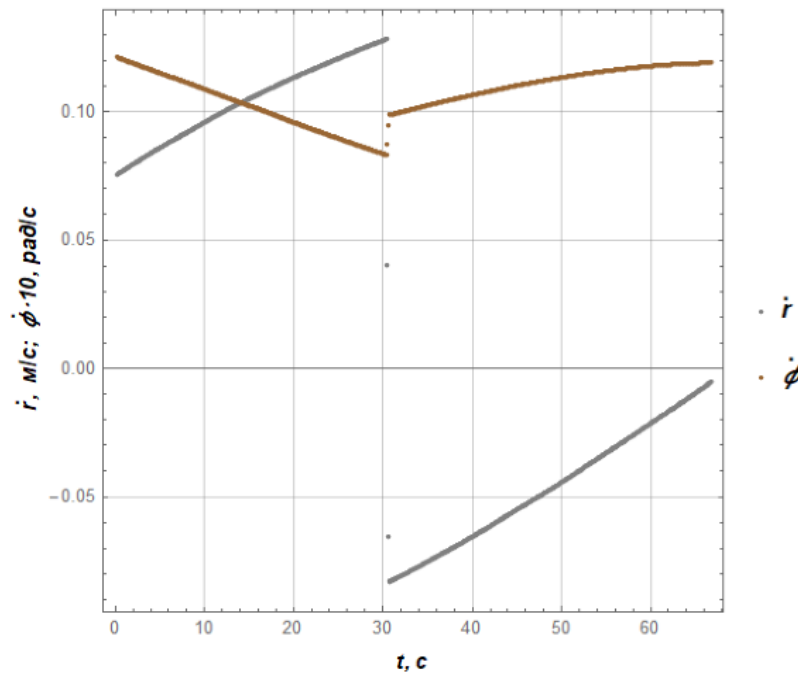


Рис. 2. Графічне зображення лінійної швидкості руху візка та кутової швидкості повороту стріли баштового крана

Розрахунки показали, що закони руху механізмів зміни вильоту вантажу та повороту крана неможливо реалізувати на практиці через розриви функцій швидкості, що фізично неможливо. Також спостерігається знакозмінний характер швидкості руху візка, що також не відповідає практичній реалізації. Отже, необхідно вирішувати проблему наявності розривів функцій швидкості повороту крана та переміщення візка, а також суміщення окремих ділянок траєкторій у точці їх сполучення.

Крім того, при побудові законів руху механізмів зміни вильоту вантажу

і повороту крану у першому наближенні було отримано дві прямі ділянки: перша відповідала руху вантажу до перешкоди, а друга – після неї. Ці дві ділянки з'єднуються під певним кутом, що говорить про неможливу реалізацію такого варіанту руху вантажу. Виходячи з цього постає завдання в заміні другої ділянки так, щоб вона спрягалася з першою плавно, що зробить можливим практичну реалізацію руху вантажу. Визначимо кут між двома прямолінійними ділянками. Для визначення кута потрібно дізнатися тангенс кута нахилу для першої та другої ділянки

Ромасевич Ю. О., Ловейкін В. С., Великоіваненко Д. І.

траєкторії. Визначення тангенсів кутів нахилу першої та другої ділянок здійснюється за допомогою формул:

$$k_1 = \frac{y_{obs} - y_0}{x_{obs} - x_0} \quad (10)$$

– для другої ділянки руху вантажу:

$$k_2 = \frac{y_{fin} - y_{obs}}{x_{fin} - x_{obs}} \quad (11)$$

Далі отримаємо кут між двома прямими:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{k_1 - k_2}{1 + k_1 \cdot k_2}\right). \quad (12)$$

Визначаємо тангенс кута нахилу ділянки сполучення, яка заміняє другу ділянку руху вантажу, та спрощуємо отриманий вираз:

$$tg(\tilde{\alpha}) = tg\left(\pi - \arctg\left(\frac{k_1 - k_2}{1 + k_1 \cdot k_2}\right)\right) = \frac{x_{obs}(y_0 - y_{fin}) + x_0(y_{fin} - y_{obs}) + x_{fin}(-y_0 + y_{obs})}{(x_0 - x_{obs})(x_{fin} - x_{obs}) + (y_0 - y_{obs})(y_{fin} - y_{obs})}. \quad (13)$$

Наступний крок полягає у визначенні закону, який буде описувати другу ділянку, яка буде плавню сполучатись із першою. Для цього розв'яжемо наступну крайову задачу:

$$\begin{cases} y_2(x) = 0; \\ y_2(0) = 0, \dot{y}_2(0) = tg(\tilde{\alpha}), \ddot{y}_2(0) = 0; \\ y_2(L_2) = 0, \dot{y}_2(L_2) = 0, \ddot{y}_2(L_2) = 0, \end{cases} \quad (14)$$

де L_2 – довжина другої ділянки у першому наближенні $(L_2 = \sqrt{(x_{fin} - x_{obs})^2 + (y_{fin} - y_{obs})^2})$. Така крайова задача обрана саме через те, що вона забезпечує бажані умови руху

на другій ділянці траєкторії, а саме вона дозволяє забезпечити плавне сполучення ділянок. Розв'язок крайової задачі (14) має наступний вигляд:

$$y_2 = tg(\tilde{\alpha})x \left(1 + \frac{x^2(-3x^2 + 8xL_2 - 6L_2^2)}{L_2^4}\right). \quad (15)$$

У результаті проведених розрахунків за формулами було виконано заміну другої прямолінійної

ділянки на іншу уточнену ділянку, яка відповідає можливості практичної реалізації руху вантажу (рис. 3).

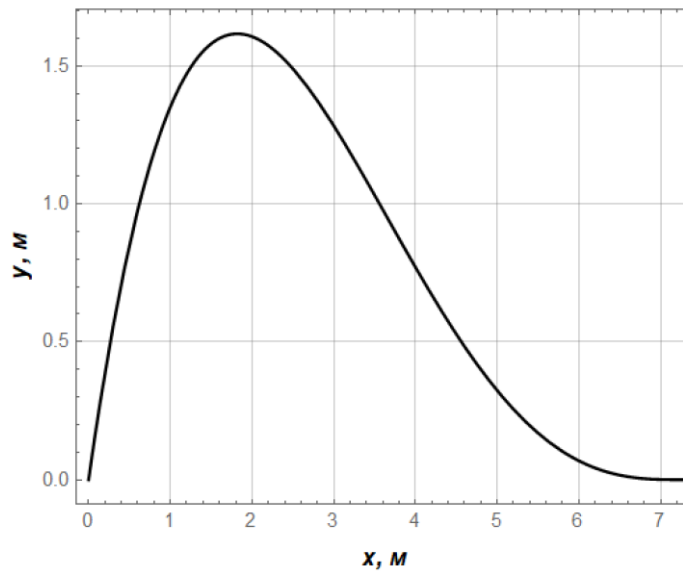


Рис. 3. Графічне зображення закону руху по другій уточненій ділянці

Після отриманої оновленої другої ділянки руху її слід поєднати з першою ділянкою. Для цього проводимо дискретизацію другої уточненої ділянки і після цього вектори, що описують координати дискретних

значень (точок) траєкторії множимо на матрицю повороту. У результаті отримаємо ділянку повернуту на потрібний кут. Крім того, віднесемо кожен вектор дискретної ділянки у точку перешкоди (x_{obs} , y_{obs}):

$$\begin{bmatrix} x_{2.i.уточ} \\ y_{2.i.уточ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{2.i} \\ y_{2.i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\arctg(k_2)) & \sin(\arctg(k_2)) \\ -\sin(\arctg(k_2)) & \cos(\arctg(k_2)) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{obs} \\ y_{obs} \end{bmatrix}, \quad (16)$$

де $x_{2.i.уточ}$ та $y_{2.i.уточ}$ – координати уточненої траєкторії, що повернута на кут $\arctg(k_2)$ та віднесена у точку сполучення ділянок (розміщення

перешкоди). Графічне представлення отриманих результатів представлено на рис. 4.

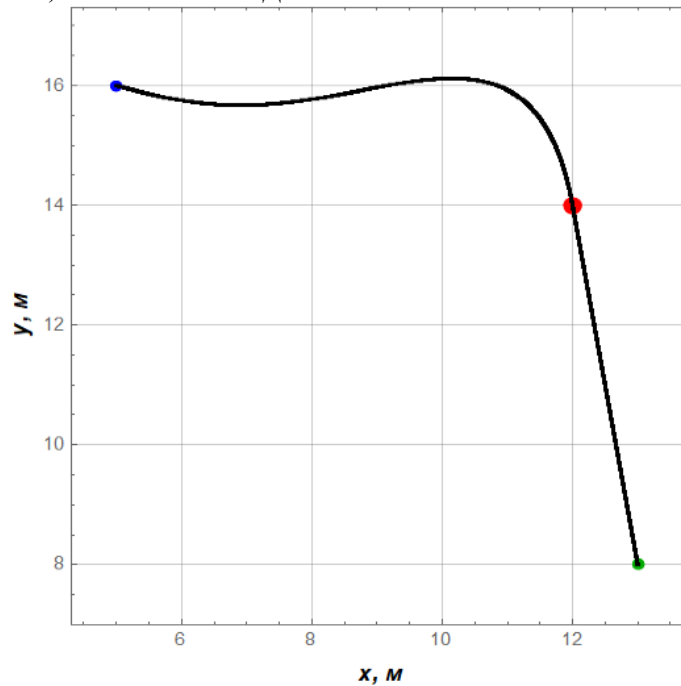


Рис. 4. Графічне зображення оновленої траєкторії руху вантажу

Наступним етапом є розрахунок законів керування механізмів повороту крана та переміщення візка. Для цього використовуємо загальні

$$L_{2, \text{уточ}} = \int_0^{L_2} \sqrt{1 + (\dot{y}_2(x))^2} dx = 8,348 \text{ м} \quad (17)$$

Ідеальна довжина траєкторії (ламана лінія із двох прямих) рівна 13,363 м. Реальна довжина траєкторії (перша і уточнена друга ділянки) рівна 14,431 м, що на 7,99 % більше довжини ідеальної траєкторії.

Для забезпечення плавного переходу між ділянками

$$L_{\text{пер}} = 2 \cdot \frac{v \cdot t_1}{2} + 2 \cdot \frac{(v + v_{\min}) \cdot t_1}{2} = 2 \cdot \frac{0,2 \cdot 4}{2} + 2 \cdot \frac{(0,2 + 0,1) \cdot 4}{2} = 2 \text{ м} \quad (18)$$

де t_1 – тривалість перехідного процесу ($t_1=4$ с). Визначаємо загальну тривалість руху по траєкторії, при

характеристики руху вантажу по траєкторії. Виконаємо розрахунок довжини другої ділянки:

використовують пониженою швидкість руху $v_{\min}=0,5v=0,1$ м/с. Крім того, необхідно забезпечити наявність перехідних процесів (оберемо, що кожен з них буде тривалістю 4 с). Загальна довжина траєкторій, яка буде пройдена на перехідних процесах, визначається таким чином:

умові, що рух виконується із змінною швидкістю:

Ромасевич Ю. О., Ловейкін В. С., Великоіваненко Д. І.

$$T_{\text{заг}} = \frac{L_{\text{заг}} - L_{\text{неп}}}{v} + 4t_1 = \frac{14,431 - 2}{0,2} + 16 = 78,155 \text{ с} \quad (19)$$

Визначимо кількість точок дискретизації u положення вантажу на траєкторії:

$$u = \frac{T_{\text{заг}}}{\Delta t} = \frac{78,155}{0,1} = 781,55 \approx 782. \quad (20)$$

Визначимо момент переходу з номінальної швидкості на проміжну:

$$t_2 = \frac{L_1 - \frac{v \cdot t_1}{2} - \frac{(v + v_{\min}) \cdot t_1}{2}}{v} + t_1 = \frac{6,083 - \frac{0,2 \cdot 4}{2} - \frac{(0,2 + 0,1) \cdot 4}{2}}{0,2} + 4 = 29,415 \text{ с} \quad (21)$$

Розрахуємо момент досягнення проміжної швидкості:

$$t_3 = t_2 + t_1 = 29,415 + 4 = 33,415 \text{ с} \quad (22)$$

Отримаємо момент закінчення розгону з проміжної швидкості до номінальної:

$$t_4 = t_3 + t_1 = 33,415 + 4 = 37,415 \text{ с} \quad (23)$$

Визначимо момент початку гальмування з номінальної швидкості до зупинки:

$$t_5 = T_{\text{заг}} - t_1 = 78,155 - 4 = 74,155 \text{ с}. \quad (24)$$

Для того, щоб реалізувати формулу зміну кроку переміщення вантажу між дискретними моментами часу:

$$\Delta s \approx \begin{cases} \frac{nt^2(-2t + 3t_1)v\Delta t}{t_1^3}, t_1 \geq t \geq 0; \\ n \cdot v \cdot \Delta t, t_2 \geq t > t_1; \\ \frac{1}{(t_2 - t_3)^3} n \left(-(t - t_3)^2 (2t - 3t_2 + t_3)v + (t - t_2)^2 (2t + t_2 - 3t_3)v_{\min} \right) \Delta t, t_3 \geq t > t_2; \\ \frac{1}{(t_3 - t_4)^3} n \left((t - t_3)^2 (2t + 3t - 3t_4)v + (t - t_4)^2 (2t - 3t_3 + t_4)v_{\min} \right) \Delta t, t_4 \geq t > t_3; \\ n \cdot v \cdot \Delta t, t_5 \geq t > t_4; \\ \frac{n(t - T)^2 (2t + T - 3t_5)v\Delta t}{(T - t_5)^3}, T \geq t > t_5, \end{cases} \quad (26)$$

Ромасевич Ю. О., Ловейкін В. С., Великоіваненко Д. І.

де Δs – крок переміщення вантажу протягом часу Δt ; t_2 – моменту переходу від номінальної швидкості на проміжну швидкість; t_3 – момент досягнення проміжної швидкості; t_4 – моменту переходу від проміжної

швидкості на номінальну швидкість; t_5 – момент початку гальмування механізмів. Надалі розраховано дискретні швидкості механізмів [9] (рис. 6).

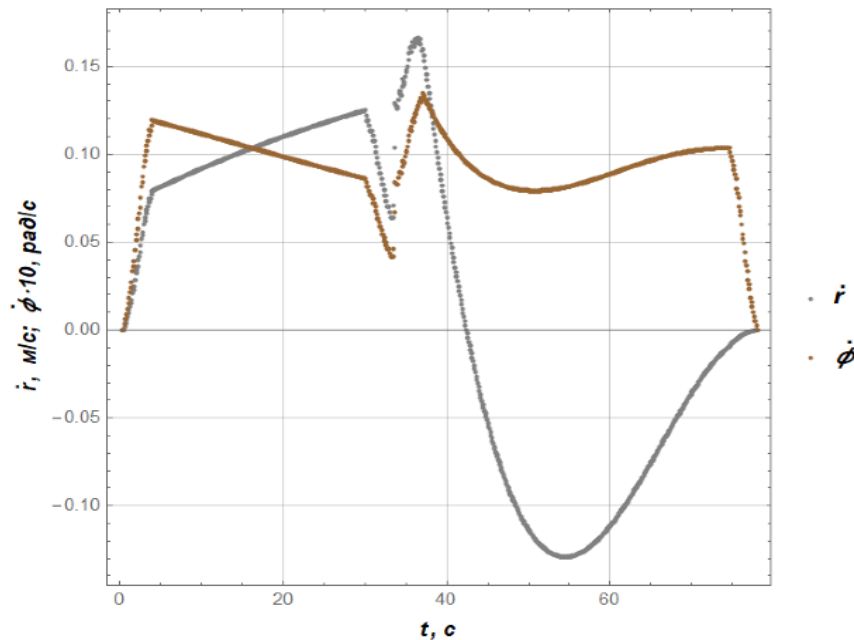


Рис. 6. Графічне зображення лінійної швидкості руху візка та кутової швидкості повороту стріли баштового крана при реалізації оновленої траєкторії руху вантажу

Для оцінки окремих характеристик руху механізмів наведемо табл. 1, де зібрані

розраховані дані для окремих етапів (наближень) розрахунку законів руху механізмів.

1. Характеристики руху механізмів для трьох окремих етапів розрахунку законів руху механізмів баштового крана

Показник	Наближення у розрахунку траєкторії руху вантажу		
	перше	друге	третє
Механізм повороту крана			
Перепад швидкості при розгоні, м/с	0,12	0,12	0,00
Перепад швидкості у точці сполучення, м/с	0,20	0,10	0,03
Перепад швидкості при гальмуванні, м/с	0,12	0,10	0,00
Знакозмінний характер швидкості механізму, так/ні	Ні	Ні	Ні
Механізм переміщення візка			
Перепад швидкості при розгоні, м/с	0,08	0,08	0,00
Перепад швидкості у точці сполучення, м/с	0,05	0,12	0,07
Перепад швидкості при гальмуванні, м/с	-0,08	0,00	0,00
Знакозмінний характер швидкості механізму, так/ні	Так	Ні	Ні

З табл. 1 видно, що з кожною новою ітерацією показники руху механізмів покращувалися. Перепад швидкості механізму повороту при розгоні зменшився з 0,12 м/с у першому наближенні до відсутності перепаду в третьому наближенні. Ситуація з перепадами швидкості при гальмуванні також покращилася, хоча в точці сполучення перепад у третьому наближенні зріс на 0,01 м/с порівняно з другим наближенням.

Висновки і перспективи подальших досліджень:

1) виконано постановку задачі оминання траєкторії при побудові траєкторії руху вантажу, який переміщується баштовим краном. Для цього передбачено проведення побудови траєкторії першого

наближення та її багатократна модифікація;

2) отримано узгоджені закони руху механізмів повороту та зміни вильоту вантажу, які відповідають руху вантажу по знайдений траєкторії і які можуть бути реалізовані за допомогою частотних перетворювачів, що керують приводами механізмів повороту крана та зміни вильоту вантажу;

3) розроблена у статті методика синтезу узгоджених законів руху механізмів баштового крана є загальною. Вона може застосовуватись для інших кранів та маніпуляційних систем роботів, що визначає перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Список використаних джерел:

1. Gutierrez, I.; Collado, J. (2015). [IEEE 2015 12th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE) - Mexico City, Mexico (2015.10.28-2015.10.30)] 2015 12th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE) - Obstacle avoidance in a two wired hammerhead tower crane.
2. He Chen, Peng Yang, Yanli Geng (2019). Proceedings of the 2019 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Hong Kong, China, July 8-12, 2019. A Time Optimal Trajectory Planning Method for Overhead Cranes with Obstacle Avoidance.
3. Inomata, Akira; Noda, Yoshiyuki (2016). Fast trajectory planning by design of initial trajectory in overhead traveling crane with considering obstacle avoidance and load vibration suppression. Journal of Physics: Conference Series, 744, 012070.
4. Matsusawa, Kanata; Noda, Yoshiyuki; Kaneshige, Akihiro (2019). [IEEE 2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) - Vancouver, BC, Canada (2019.8.22-2019.8.26)] 2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) - On-demand Trajectory Planning with Load Sway Suppression and Obstacles Avoidance in Automated Overhead Traveling Crane System.
5. Hirashawa, Y., Hayasaki, K. (2014). Path planning for tower crane with obstacle avoidance. Procedia Computer Science, 29, 647-656.
6. Kotake, H., Yanagawa, H. (2016). Path planning of tower crane with obstacle avoidance using artificial intelligence algorithm. International Journal of Advanced Robotic Systems, 13(2), 1-9.
7. Yanagawa, H., Kato, T., Kotake, H. (2017). Path planning for tower cranes with obstacle avoidance using genetic algorithm. Proceedings of the International Conference on Robotics and Biomimetics, Macau, China, December 5-8, 2017, 164-169.

8. Алгоритм Савицького-Голея. URL: https://ru.frwiki.wiki/wiki/Algorithme_de_Savitzy-Golay (дата звернення: 14.12.2022).

References:

1. Gutierrez, I.; Collado, J. (2015). [IEEE 2015 12th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE) - Mexico City, Mexico (2015.10.28-2015.10.30)] 2015 12th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE) - Obstacle avoidance in a two wired hammerhead tower crane.
2. He Chen, Peng Yang, Yanli Geng (2019). Proceedings of the 2019 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Hong Kong, China, July 8-12, 2019. A Time Optimal Trajectory Planning Method for Overhead Cranes with Obstacle Avoidance.
3. Inomata, Akira; Noda, Yoshiyuki (2016). Fast trajectory planning by design of initial trajectory in overhead traveling crane with considering obstacle avoidance and load vibration suppression. Journal of Physics: Conference Series, 744, 012070.
4. Matsusawa, Kanata; Noda, Yoshiyuki; Kaneshige, Akihiro (2019). [IEEE 2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) - Vancouver, BC, Canada (2019.8.22-2019.8.26)] 2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) - On-demand Trajectory Planning with Load Sway Suppression and Obstacles Avoidance in Automated Overhead Traveling Crane System.
5. Hirashawa, Y., Hayasaki, K. (2014). Path planning for tower crane with obstacle avoidance. Procedia Computer Science, 29, 647-656.
6. Kotake, H., Yanagawa, H. (2016). Path planning of tower crane with obstacle avoidance using artificial intelligence algorithm. International Journal of Advanced Robotic Systems, 13(2), 1-9.
7. Yanagawa, H., Kato, T., Kotake, H. (2017). Path planning for tower cranes with obstacle avoidance using genetic algorithm.

Ромасевич Ю. О., Ловеїкін В. С., Великоїваненко Д. І.
Proceedings of the International Conference on
Robotics and Biomimetics, Macau, China,
December 5-8, 2017, 164-169.

8. Algorithm of Savitzky-Golay. URL:
https://ru.frwiki.wiki/wiki/Algorithme_de_Savitzky-Golay (access date: 12/14/2022).

MOTION LAWS DEVELOPMENT OF TROLLEY MOVEMENT AND TOWER CRANE SLEWING

Yu. O. Romasevych, V. S. Loveikin, D. I. Velykoyivanenko

Abstract. *The article presents the problem of synthesizing the trajectory of load movement when bypassing an obstacle. The trajectory was obtained on the basis of the requirement for a smooth change in the direction of the load movement. Based on the discrete positions of the load, the position of the links of the mechanisms of the tower crane slewing and trolley movement was found. The laws of changing the speed of movement of these mechanisms were obtained. The results obtained at each iteration of the calculation were analyzed, and it was established that the final result satisfies the requirements for the smoothness of the movement of the load, provides smooth acceleration and deceleration of the mechanisms, which is confirmed by graphic dependencies and numerical data.*

Keywords: *law of motion, tower crane, obstacle, trolley movement, slewing of the crane*