

ГОРИЗОНТАЛЬНІ КОЛИВАННЯ ВАНТАЖУ НА ТРОСІ ПРИ РІВНОМІРНОМУ ПОВОРІТІ СТІЛИ КРАНУ

Вступ. Стан розвитку піднімально-транспортного обладнання вимагає подальшого удосконалення математичних моделей технологічних процесів керування, продуктивності та точності позиціювання вантажу при повороті стріли крану. Розв'язання зазначених задач вимагає додаткового динамічного аналізу руху вантажу на тросі у горизонтальній площині при рівномірному повороті стріли крану. Також існує необхідність розрахунку власних відносних коливань, які виникають при розгойдуванні вантажу упродовж переносного обертового руху стрілової системи крану. Розрахунковий аналіз механічної системи «стріла-вантаж» дає шлях до визначення динамічних навантажень на основні елементи несної конструкції.

Аналіз літературних джерел. Розрахункові підходи до врахування впливу відцентрових сил інерції на характер коливань вантажу при повороті стріли крану представлені в роботі Кузьміна О.М. та ін. [1]. В роботі Макаревич Є.В. та ін. [2] розроблено математичну модель поворотного крану в імітаційному середовищі SimMechanics пакету Matlab, а також реалізовано оптимальне керування запропонованою моделлю крана за допомогою модуля Matlab Optimization Toolbox. У дослідженні Герасим'яка Р.П. та ін. [3] розглянуті підходи до оптимального електромеханічного керування вильотом стріли крану. Зарецьким А.А. та ін. в роботах [4]-[5] наводиться класифікація розгойдування вантажу, причому відносно розгойдування вантажу відноситься до динамічних похибок кранової системи. Задачі зниження розгойдування вантажу при повороті стріли крану також проаналізовані в роботах Дрьомова В.І. та ін. [6], Коритова М.С. [7], Голдобіної Л.О. та ін. [8]. Врахування впливу випадкового вітрового навантаження на динамічні режими роботи стрілового крану, у тому числі при екстремальних умовах експлуатації, виконано в роботі Подобєда В.О. [9]. В дослідженні Ловейкіна В.С. та ін. [10] записано функцію Лагранжа та проаналізовано рівняння руху вантажу на канаті крана, що обертається навколо осі. Водночас необхідно зазначити, що у відомих дослідженнях [1]-[10] приділяється недостатньо уваги аналізу динамічних режимів розгойдування вантажу у горизонтальній площині коливань із врахуванням впливу прискорення Коріоліса на відносну траєкторію вантажу на канаті, що і зумовлює актуальність даної роботи.

Цілі та задачі дослідження. Метою роботи є розв'язання оберненої задачі динаміки щодо визначення вигляду відносної траєкторії вантажу у горизонтальній площині коливань із одночасним врахуванням як відносного повороту вертикальної площини коливань вантажу, так і впливу прискорення Коріоліса на вигляд відносної траєкторії вантажу, що розгойдується на канаті.

Математична модель. Для розв'язання задачі скористаємося рівняннями Лагранжа II роду, які застосуємо до руху механічної системи «стріла BO_2 – вантаж M », зображеної на рис. 1а – рис. 1б. Досліджувана система має три ступеня вільності. В якості узагальнених координат приймемо прямокутні координати вантажу x, y та кут $\varphi_e = \omega_e t$ рівномірного обертання стріли зі сталою кутовою швидкістю ω_e навколо вертикальної осі O_2z_2 , де $x_2y_2z_2$ – нерухома інерціальна система осей координат, а $x_1y_1z_1$

–рухома неінерціальна система, жорстко пов’язана зі стрілою BO_2 крану. Обертання рухомої системи осей координат $x_1y_1z_1$ відносно нерухомої системи $x_2y_2z_2$ визначає переносний рух, а рух вантажу відносно системи $x_1y_1z_1$ – переносний рух.

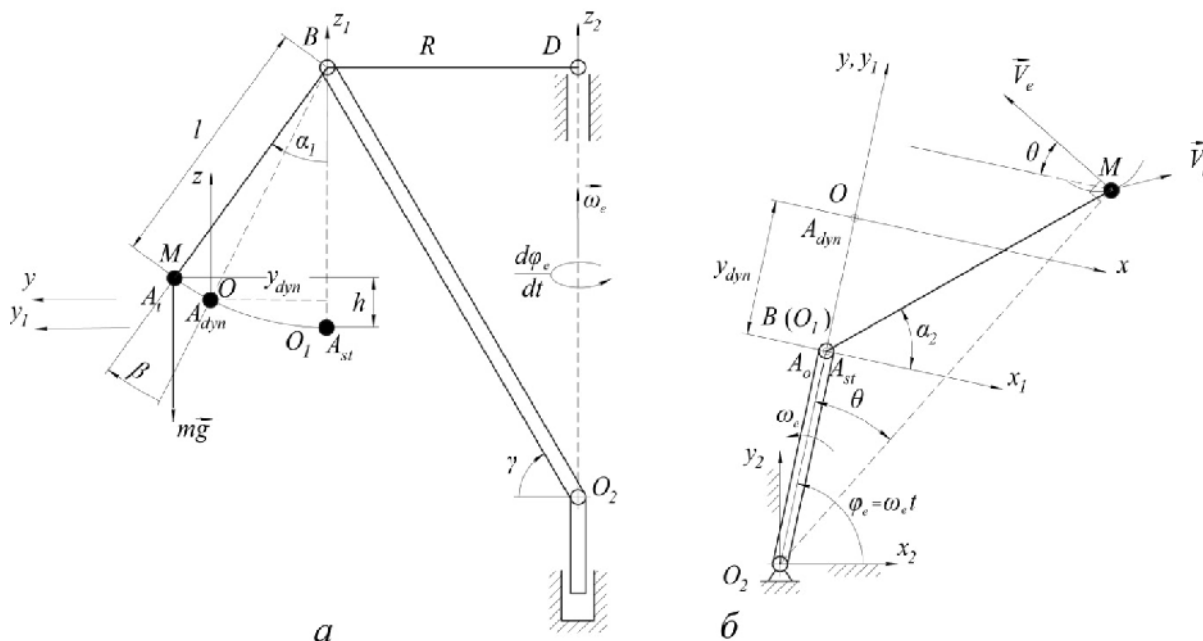


Рис. 1. Схема розгойдування вантажу M на тросі MB , прикріпленому в точці B до стріли BO_2 :
 а – вертикальна площина (yz); б – горизонтальна площина (xy).

Модуль переносної швидкості вантажу $V_e = \omega_e \cdot O_2M$, причому вектор переносної швидкості \vec{V}_e перпендикулярний до O_2M (рис. 1б), а відносна швидкість \vec{V}_r вантажу є $\vec{V}_r = (dx_1/dt, dy_1/dt)$. У початковий момент часу $t=0$ вантаж M знаходиться на вертикальній лінії BA_{st} , тобто його початкове положення збігається з положенням статичної рівноваги вантажу на тросі. При $t=0$ вантаж M має нульову абсолютну швидкість, а початкова відносна швидкість $V_{r0x} = -\omega_e \cdot BD$ (рис. 1а). На рис. 1б позначено кут θ , який є поточним кутом $A_{st}O_2M$, тобто кутом між віссю y_1 та радіус-вектором O_2M , причому $\sin(\theta) = x_1/O_2M$; $\cos(\theta) = (R+y_1)/O_2M$. Вертикальна координата z_1 на рис. 1а визначається як $z_1 = l - l \cdot \cos(\alpha_1)$, де α_1 – кут троса із вертикаллю. Для малих кутів α_1 проєкції вектора абсолютної швидкості визначаються як:

$$V_{x_1} = (dx_1/dt) - V_e \cdot \cos(\theta); \quad V_{y_1} = (dy_1/dt) + \omega_e \cdot x_1; \quad V_{z_1} \approx 0. \quad (1)$$

Із урахуванням (1) кінетична енергія вантажу M визначається як

$$T = (m/2) \cdot \left(\left((dx_1/dt) - \omega_e \cdot (R + y_1) \right)^2 + \left((dy_1/dt) + \omega_e \cdot x_1 \right)^2 \right). \quad (2)$$

Потенціальна енергія системи Π визначається як

$$\Pi = mgl \cdot (1 - \cos(\alpha_1)). \quad (3)$$

Геометрична в’язь між α_1 , x_1 та y_1 має наступний вигляд:

$$l^2 \cdot \sin^2(\alpha_1) = x_1^2 + y_1^2. \quad (4)$$

Частинні похідні від α_1 за x_1 та y_1 визначаються наступним чином:

$$\partial \alpha_1 / \partial x_1 = x_1 / (l^2 \cdot \sin(\alpha_1) \cdot \cos(\alpha_1)); \quad \partial \alpha_1 / \partial y_1 = y_1 / (l^2 \cdot \sin(\alpha_1) \cdot \cos(\alpha_1)). \quad (5)$$

Із урахуванням (3)-(5) узагальнені сили набувають вигляду:

$$Q_{x_1} = -mg \cdot (x_1/l); \quad Q_{y_1} = -mg \cdot (y_1/l). \quad (6)$$

Для малого кута α_l узагальнені сили (6) являються проекціями сили тяжіння на площину, яка перпендикулярна до тросу BM . Диференціальні рівняння відносного руху механічної системи одержимо за допомогою рівнянь Лагранжа II роду:

$$\begin{cases} d(\partial T / (\partial(dx_1/dt))) / dt - \partial T / \partial x_1 = Q_{x_1}; \\ d(\partial T / (\partial(dy_1/dt))) / dt - \partial T / \partial y_1 = Q_{y_1}. \end{cases} \quad (7)$$

Із врахуванням (2), (6) рівняння (7) остаточно приймають вигляд:

$$\begin{cases} m \cdot (d^2 x_1 / dt^2) - 2 \cdot m \cdot \omega_e \cdot (dy_1 / dt) - m \cdot \omega_e^2 \cdot x_1 = -mg \cdot (x_1/l); \\ m \cdot (d^2 y_1 / dt^2) + 2 \cdot m \cdot \omega_e \cdot (dx_1 / dt) - m \cdot \omega_e^2 \cdot (R + y_1) = -mg \cdot (y_1/l). \end{cases} \quad (8)$$

Таким чином одержано систему (8) диференціальних рівнянь відносного руху вантажу M , закріпленого у т. B стріли BO_2 , яка обертається зі сталою кутовою швидкістю ω_e навколо вертикальної осі DO_2 .

Якщо початок системи осей координат Oxy розташувати у точці A_{dyn} динамічної рівноваги вантажу, причому $x_l = x$; $y_l = y + y_{dyn}$, то друге рівняння системи (8) визначить величину динамічного відхилення $y_{dyn} = A_{st} A_{dyn} = (\omega_e^2 R l) / (g - \omega_e^2 l)$. Якщо поділити рівняння системи (8) на масу вантажу M , то одержимо нормальну систему двох лінійних однорідних диференціальних рівнянь II порядку для відносного руху вантажу:

$$\begin{cases} (d^2 x / dt^2) - 2 \cdot \omega_e \cdot (dy / dt) - \omega_e^2 \cdot x = -x \cdot (g/l); \\ (d^2 y / dt^2) + 2 \cdot \omega_e \cdot (dx / dt) - \omega_e^2 \cdot y = -y \cdot (g/l). \end{cases} \quad (9)$$

Визначник матриці власних частот системи (9) має наступний вигляд:

$$\begin{vmatrix} \lambda^2 + (g/l) - \omega_e^2 & -2 \cdot \omega_e \cdot \lambda \\ 2 \cdot \omega_e \cdot \lambda & \lambda^2 + (g/l) - \omega_e^2 \end{vmatrix} = 0. \quad (10)$$

Характеристичне біквдратне рівняння IV порядку системи (9) має вигляд:

$$\lambda^4 + 2((g/l) + \omega_e^2)\lambda^2 + ((g/l) - \omega_e^2)^2 = 0. \quad (11)$$

Із (10)-(11) визначаємо корені вікового рівняння λ_1 і λ_2 :

$$\lambda_1 = \pm \nu_1 \cdot i; \quad \lambda_2 = \pm \nu_2 \cdot i; \quad \nu_1 = k + \omega_e; \quad \nu_2 = k - \omega_e; \quad k = \sqrt{g/l}; \quad \omega_e \neq k. \quad (12)$$

Із врахуванням (12) закон відносного руху набуває вигляду

$$\begin{cases} x(t) = C_1 \sin(\nu_1 \cdot t) + C_2 \cos(\nu_1 \cdot t) + C_3 \sin(\nu_2 \cdot t) + C_4 \cos(\nu_2 \cdot t); \\ y(t) = C_1 \cos(\nu_1 \cdot t) - C_2 \sin(\nu_1 \cdot t) - C_3 \cos(\nu_2 \cdot t) + C_4 \sin(\nu_2 \cdot t). \end{cases} \quad (13)$$

Для визначення сталих інтегрування C_1, \dots, C_4 , задамо початкові умови задачі:

$$x_0 = 0; \quad dx_0/dt = -V_B = -\omega_e R; \quad y_0 = -y_{dyn}; \quad dy_0/dt = 0. \quad (14)$$

Чисельні розрахунки здійснювались для наступних значень параметрів системи: $R=0,492$ м; $g=9,81$ м/с²; $l=0,825$ м; $k=(g/l)^{0,5} \approx 3,448$ рад/с; $T=30$ с; $\omega_e=2\pi/T \approx 0,209$ рад/с; $\alpha_{1dyn}=0,0022$ рад; $V_B=0,103$ м/с; $y_{dyn}=0,0018$ м; $v_1=k+\omega_e=3,658$ рад/с; $v_2=k-\omega_e=3,239$ рад/с. Із (13)-(14) маємо: $x(t) = (-0,01396) \cdot \sin(3,238 \cdot t) - 0,01579 \cdot \sin(3,656 \cdot t)$ м; $y(t) = 0,01396 \cdot \cos(3,238 \cdot t) - 0,01579 \cdot \cos(3,656 \cdot t)$ м – закон відносного руху M . Після виключення часу із одержаних рівнянь маємо відносну траєкторію вантажу M (рис. 2).

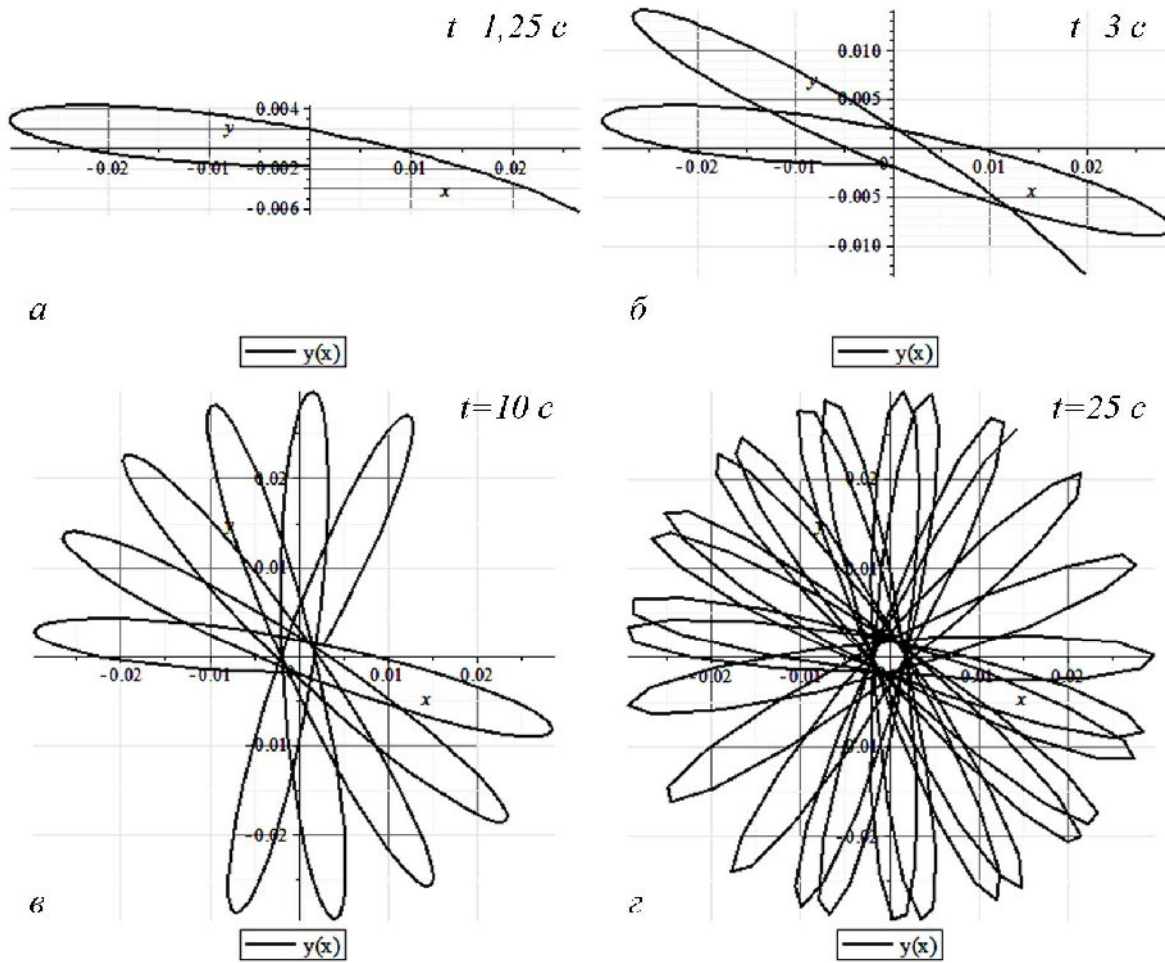


Рис. 2. Відносні траєкторії вантажу M на тросі при рівномірному обертальному русі стріли O_2B .

Абсолютні координати x_2, y_2 в залежності від відносних координат x, y при розгойдуванні вантажу M визначаються за наступними співвідношеннями:

$$\begin{cases} x_2 = (R + y + y_{dyn}) \cdot \cos(\omega_e t) + x \cdot \sin(\omega_e t); \\ y_2 = (R + y + y_{dyn}) \cdot \sin(\omega_e t) - x \cdot \cos(\omega_e t). \end{cases} \quad (15)$$

За співвідношеннями (15) отримано теоретичну абсолютну траєкторію 1 вантажу M (рис. 3а, 3в) для часу руху $t=15$ с. На рис. 3б, 3г наведено експериментальну абсолютну траєкторію 2 вантажу M для $t=18$ с. Рис. 3 відповідає куту повороту $\varphi_e=180^\circ$.

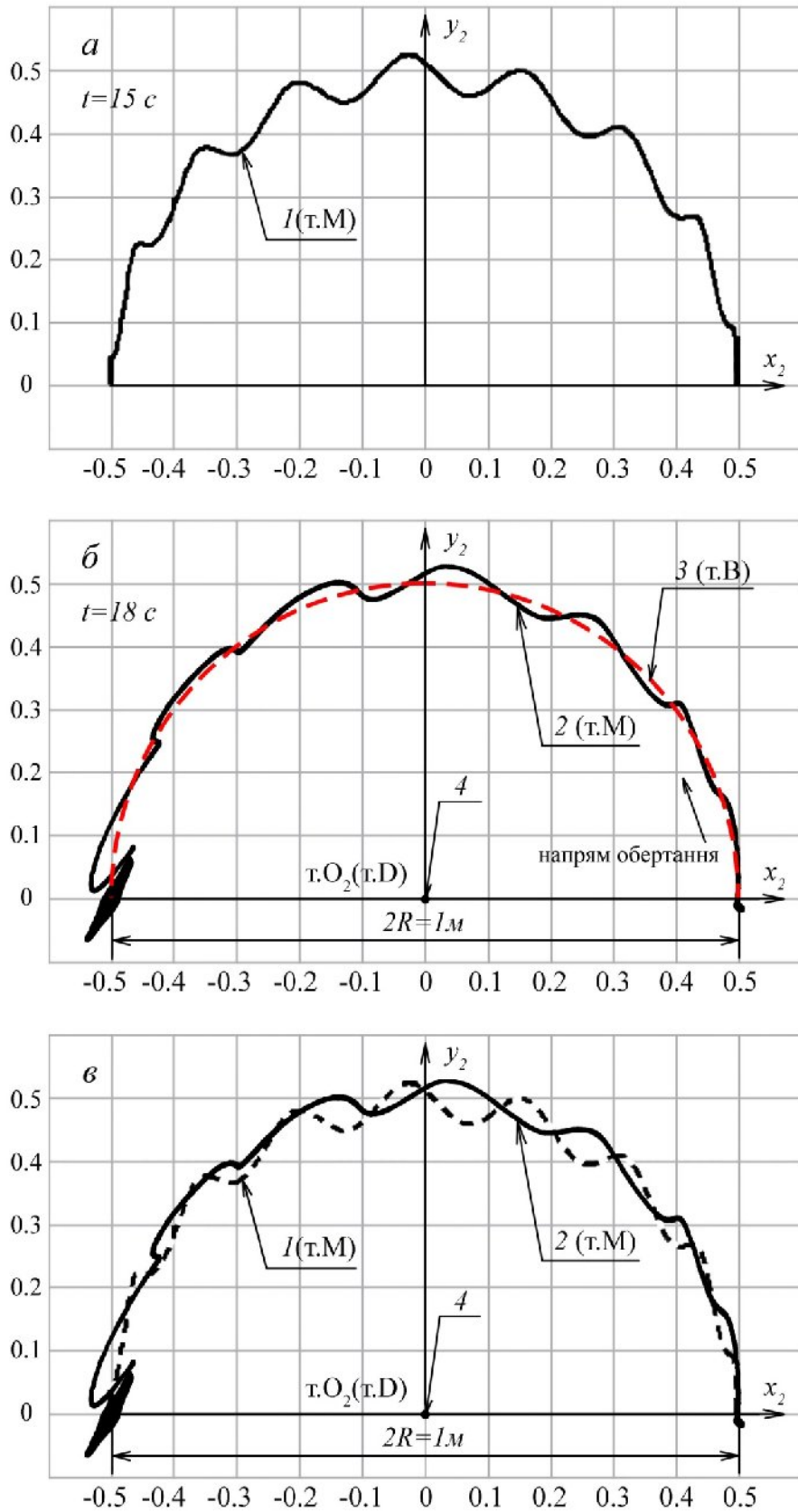


Рис. 3. Розрахункова 1 (а, в) та експериментальна 2 (б, в) абсолютні траєкторії вантажу M , де 3 – траєкторія т. В кінця стріли (б); 4 – центр $O_2(D)$ обертання стріли O_2B (б, в).

Аналіз результатів математичного та фізичного моделювання. Ліві частини рівнянь Лагранжа (8) можуть бути одержані із застосуванням динамічної теореми Коріоліса: перші доданки d^2x_1/dt^2 ; d^2y_1/dt^2 визначають вектор відносного прискорення у рухомій системі координат $x_1y_1z_1$; другі доданки визначають коріолісову силу інерції $\Phi_{\text{кор}}$, зумовлену переносним обертанням стріли крану O_2B із сталою кутовою швидкістю ω_e , причому $\Phi_{\text{кор}} = (-2)m[\omega_e, \mathbf{Vr}]$, де прямокутні проекції коріолісової сили інерції на осі координат є $\Phi_{\text{кор}x} = 2m\omega_e(dy_1/dt)$ і $\Phi_{\text{кор}y} = (-2)m\omega_e(dx_1/dt)$; треті доданки зумовлені наявністю даламберової сили інерції від переносного обертання, а її проекції на осі координат є $\Phi_{e_x}^n = m\omega_e^2 x_1$ і $\Phi_{e_y}^n = m\omega_e^2 (R+y_1)$.

Одержано консервативну систему (8)-(9) із доданками $\Phi_{\text{кор}x}$, $\Phi_{\text{кор}y}$, причому наявність перших похідних відносних координат вантажу M за часом dx_1/dt , dy_1/dt зумовлює не згасання коливань, а лише зміну напрямку відносної швидкості вантажу M .

Відповідно до (12) маємо $\lambda_1^2 < 0$ і $\lambda_2^2 < 0$, причому наразі маємо наступні власні частоти ($v_1 \neq v_2$) вільних коливань $v_1 = k + \omega_e = 3,658$ рад/с і $v_2 = k - \omega_e = 3,239$ рад/с. Як впливає із вигляду відносної $y=y(x)$ та абсолютної $y_2=y_2(x_2)$ траєкторій на рис. 2-3, результуючий рух вантажу M на тросі MB із врахуванням коріолісової сили інерції $\Phi_{\text{кор}}$ буде сумою двох коливань із частотами v_1 і v_2 , а також періодами $T_1 = 2\pi/v_1 \approx 1,718$ с і $T_2 = 2\pi/v_2 \approx 1,941$ с. Відзначимо, що v_1 і v_2 відрізняються на величину $2\omega_e$. Це означає, що наразі $v_1 \approx v_2$ і траєкторія відносного руху $y=y(x)$ схожа на еліпс для часу $T^* = 2\pi/k \approx 1,82$ с з півосями, які зумовлені початковими умовами. Більша піввісь визначається початковою швидкістю вантажу M , причому величина більшої півосі є $V_B/k = (\omega_e R)/k \approx 0,03$ м, що приблизно є сумою амплітуд чисельного розв'язку задачі. Менша піввісь визначається величиною $y_{\text{dyn}} = 0,0018$ м, що приблизно є різницею амплітуд чисельного розв'язку. Наразі більша піввісь приблизно у 17 раз є більшою ніж менша, оскільки кутова швидкість ω_e переносного обертання стріли крану O_2B значно менша від власної частоти k сферичних коливань вантажу M на тросі MB . Більша піввісь еліпсу відносного руху обертається із кутовою швидкістю ω_e у протилежному напрямку до переносного обертання стріли крану O_2B (рис. 2в).

Із рис. 3 впливає, що траєкторія абсолютного руху M є майже симетричною кривою відносно осі y_2 . Початковий та кінцевий рухи вантажу M за півперіод істотно відрізняється від гармонійних коливань у околі четверті періоду. Унаслідок незначної величини $y_{\text{dyn}} = 0,0018$ м, середнє відхилення вантажу M від траєкторії руху кінця т. B стріли O_2B є незначним. Основне динамічне навантаження на систему «стріла BO_2 – вантаж M » спричинено високочастотним коливанням M , яке зумовлено силою інерції від коріолісова прискорення M . Воно визначає додаткове навантаження та вібрації елементів конструкції стріли O_2B та опорних підшипників, ускладнює системи автоматичного та ручного керування електромеханічних систем стріли O_2B крану, а також погіршує умови праці оператора стрілового крану.

Зупинка стріли крану O_2B не призводить до миттєвого згасання абсолютних коливань вантажу M , що впливає із експериментальної траєкторії на рис. 3б, 3в. У подальшому має місце коливальний рух вантажу M з частотою k власних сферичних коливань і з амплітудою, що є різницею між кінцевим положенням вантажу M при відносному русі за півперіод коливань та статичною рівновагою A_{st} вантажу M на тросі. Подальші коливання при зупинці стріли O_2B є відхиленням реальної траєкторії від цільового призначення для кінцевого положення вантажу M . Результати фізичного моделювання показують необхідність створення додаткових пристроїв для ефективного заглушення остаточних коливань вантажу M .

Висновки. Із застосуванням рівнянь Лагранжа II роду та динамічної теореми Коріоліса в роботі отримані однакові диференціальні рівняння відносного руху вантажу

M на тросі MB , який закріплено на стрілі O_2B крану, що здійснює рівномірний обертальний рух із переносною кутовою швидкістю ω_e відносно нерухомої вертикальної осі z_2 . Досліджено вплив сил інерції від переносного та коріолісового прискорень. Отримано теоретичний розв'язок задачі Коші для рівнянь відносного руху M із врахуванням впливу типових початкових умов. Запропоновано формули зв'язку відносного та абсолютних рухів для вантажу M . Результати аналітичного дослідження та проведеного фізичного моделювання виявили задовільне узгодження як за частотами, так і за амплітудами коливань. Результати даної роботи являють собою основу для подальшого вивчення динаміки розгойдування вантажу M , побудови епюр внутрішніх силових факторів у несних конструкціях стріли O_2B , а також для аналізу статичних та динамічних характеристик автоматичних та ручних систем керування.

Література: 1. Кузьмин А.Н. Исследование колебаний груза на гибком подвесе при повороте крана / А.Н. Кузьмин, В.В. Суглобов, В.И. Федун // *Захист металургійних машин від поломок: Зб. наук. пр. – Маріуполь: ПДТУ. – 2011. – Вип. 13. – С. 141–147.* 2. Макаревич Е.В. Разработка оптимального управления движением башенного крана / Е.В. Макаревич, В.Н. Шамардина, Ф. Палис, С. Палис / *Електротехнічні та комп'ютерні системи: науково-технічний журнал. – Одеса: ОНПУ. – 2011. – № 3. – С. 170-171. – ISSN 2221-3805.* 3. Герасимьяк Р.П. Особенности керування електроприводом механізму вильоту стріли під час обертання крана з підвишеним вантажем / Р.П. Герасимьяк, О.В. Найденко / *Електротехнічні та комп'ютерні системи: науково-технічний журнал. – Одеса: ОНПУ. – 2007. – Випуск 68. – С. 11-15. – ISSN 2221-3805.* 4. Зарецкий А.А. Управление и защита грузоподъемного крана с гашением раскачивания груза. Часть 1/ А.А. Зарецкий, Л.С. Каминский, Д.М. Маиш, И.А. Пятницкий, И.Г. Фёдоров // *Журнал «Все Краны». – Санкт-Петербург: ООО «Издательский дом «Кран-Сервис». – 2007. – №16/16 (декабрь). – С. 10–13.* 5. Зарецкий А.А. Управление и защита грузоподъемного крана с гашением раскачивания груза. Часть 2/ А.А. Зарецкий, Л.С. Каминский, Д.М. Маиш, И.А. Пятницкий, И.Г. Фёдоров // *Журнал «Все Краны». – Санкт-Петербург: ООО «Издательский дом «Кран-Сервис». – 2008. – №01/17 (январь-февраль). – С. 8–12.* 6. Дремов В.И. К вопросу о создании энергоэффективных отечественных мощных грузоподъемных средств для условий природно-техногенных катаклизмов / В.И. Дремов, В.Г. Ивахник, А.В. Ляхомский // *Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ. – 2005. – № 6. – С. 274–278. – ISSN 0236-1493.* 7. Корытов М.С. О перемещении груза автокраном вдоль заданной траектории при ограничении количества одновременно управляемых координат / М.С. Корытов // *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – Самара: СамГТУ. – 2009. – № 2 (24). – С. 105-112.* 8. Голдобина Л.А. Теоретическое обоснование снижения раскачивания груза на канате строительного крана / Л.А. Голдобина, А.В. Власов, А.Л. Бочков // *Технико-технологические проблемы сервиса. – Санкт-Петербург: СПбГУЭС. – 2011. – Т. 2. – № 16. – С. 52-60. – ISSN 2074-1146.* 9. Подобед В.А. Теоретические исследования основных показателей работы портального крана "Альбрехт" при динамическом воздействии ветра / В.А. Подобед // *Вестник Мурманского государственного технического университета. – Мурманск: МГТУ. – 2006. – Т. 9. – № 3. – С. 522-530. – ISSN 1560-9278.* 10. Ловейкін В.С. Нелінійні маятникові коливання вантажу на гнучкому підвісі при різних режимах обертання / В.С. Ловейкін, А.А. Бойко, Ю.В. Човнюк // *Вісник ТНТУ (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки). – 2010. – Т. 15. – № 3. – С. 41-48.*

Bibliography (transliterated): 1. Kuz'min A.N. Issledovanie kolebanij gruzha na gibkom podvese pri povorote krana / A.N. Kuz'min, V.V. Suglobov, V.I. Fedun // *Zakhyst metalurhiinykh mashyn vid polomok: Zb. nauk. pr. – Mariupol: PDTU. – 2011. – Vyp. 13. – S. 141–147.* 2. Makarevich E.V. Razrabotka optimal'nogo upravlenija dvizhenijami bashennogo krana / E.V. Makarevich, V.N. Shamardina, F. Palis, S. Palis / *Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy: naukovo-tekhnichnyi zhurnal. – Odesa: ONPU. – 2011. – № 3. – S. 170-171. – ISSN 2221-3805.* 3. Herasytiak R.P. Osoblyvosti keruvannia elektropyvodom mekhanizmu vylyotu strily pid chas
Механіка та машинобудування, 2012, № 1

obertannia krana z pidvishenym vantazhem / R.P. Herasymiak, O.V. Naidenko / Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy: naukovo-tekhnichnyi zhurnal. – Odesa: ONPU. – 2007. – Vypusk 68. – S. 11-15. – ISSN 2221-3805. 4. Zareckij A.A. Upravlenie i zavita gruzopod'emnogo krana s gasheniem raskachivaniya gruzu. Chast' 1/ A.A. Zareckij, L.S. Kaminskij, D.M. Mash, I.A. Pjatnickij, I.G. Fjodorov // Zhurnal «Vse Krany». – Sankt- Peterburg: OOO «Izdatel'skij dom «Kran-Servis». – 2007. – №16/16 (dekabr'). – S. 10–13. 5. Zareckij A.A. Upravlenie i zavita gruzopod'emnogo krana s gasheniem raskachivaniya gruzu. Chast' 2/ A.A. Zareckij, L.S. Kaminskij, D.M. Mash, I.A. Pjatnickij, I.G. Fjodorov // Zhurnal «Vse Krany». – Sankt- Peterburg: OOO «Izdatel'skij dom «Kran-Servis». – 2008. – №01/17 (janvar'-fevral'). – S. 8–12. 6. Dremov V.I. K voprosu o sozdanii jenergojeffektivnyh otechestvennyh mownyh gruzopod'emnyh sredstv dlja uslovij prirodno-tehnogennyh kataklizmov / V.I. Dremov, V.G. Ivahnik, A.V. Ljahomskij // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. – M.: MGGU. – 2005. – № 6. – S. 274–278. – ISSN 0236-1493. 7. Korytov M.S. O peremewenii gruzu avtokranom vdol' zadannoj traektorii pri ogranichenii kolichestva odnovremenno upravlyaemyh koordinat / M.S. Korytov // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Tehničeskie nauki. – Samara: SamGTU. – 2009. – № 2 (24). – S. 105-112. 8. Goldobina L.A. Teoreticheskoe obosnovanie snizhenija raskachivaniya gruzu na kanate stroitel'nogo krana / L.A. Goldobina, A.V. Vlasov, A.L. Bochkov // Tehniko-tehnologičeskie problemy servisa. – Sankt-Peterburg: SPbGUSJe. – 2011. – T. 2. – № 16. – S. 52-60. – ISSN 2074-1146. 9. Podobed V.A. Teoreticheskije issledovanija osnovnyh pokazatelej raboty portal'nogo krana "Al'breht" pri dinamicheskom vozdejstvii vetra / V.A. Podobed // Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – Murmansk: MGTU. – 2006. – T. 9. – № 3. – S. 522-530. – ISSN 1560-9278. 10. Loveikin V.S. Neliniini maiatnykovi kolyvannia vantazhu na hnuchkomu pidvisi pry riznykh rezhymakh obertannia / V.S. Loveikin, A.A. Boiko, Iu.V. Chovniuk // Visnyk TNTU (mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia vyrobnytstva ta protsesy mekhanichnoi obrobky). – 2010. – T. 15. – № 3. – S. 41-48.

Періг О.В., Стадник О.М., Дериглазов О.І.

ГОРИЗОНТАЛЬНІ КОЛИВАННЯ ВАНТАЖУ НА ТРОСІ ПРИ РІВНОМІРНОМУ ПОВОРОТІ СТІЛИ КРАНУ

Із застосуванням рівнянь Лагранжа другого роду розв'язано обернену задачу динаміки щодо визначення горизонтальних коливань вантажу, що розгойдується упродовж рівномірного повороту стріли крану. У задачі одночасно враховано як відносний поворот вертикальної площини розгойдування вантажу, так і вплив прискорення Кориоліса на вигляд відносної траєкторії.

Периг А.В., Стадник А.Н., Дериглазов А.И.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ГРУЗА НА ТРОСЕ ПРИ РАВНОМЕРНОМ ПОВОРОТЕ СТРЕЛЫ КРАНА

С применением уравнений Лагранжа второго рода решена обратная задача динамики по определению горизонтальных колебаний раскачивающегося груза при равномерном повороте стрелы крана. В задаче выполнен одновременный учет как относительного поворота вертикальной плоскости раскачиваний груза, так и влияния ускорения Кориолиса на вид относительной траектории.

Perig A.V., Stadnik A.N., Deriglazov A.I.

SWAYING CARGO HORIZONTAL VIBRATIONS FOR UNIFORM ROTATING JIB-TYPE CRANE SYSTEM

An inverse material particle dynamics problem for swaying cargo horizontal vibrations determination has been solved with an introduction of Lagrange equations. The uniform rotation of jib-type crane system has been assumed. Proposed approach takes into consideration both the relative rotation of the cargo vibration vertical plane and the influence of Coriolis acceleration on the swaying cargo trajectory type.