

УДК 677.055, 685.34.
055.473, 687.053

ДВОРЖАК В. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ СХЕМ ПРОСТОРОВИХ ЧОТИРИЛАНКОВИХ КРИВОШИПНО- КОРОМИСЛОВИХ МЕХАНІЗМІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

Мета. Вдосконалення методів проектування цільових механізмів технологічних машин легкої промисловості із застосуванням прикладних CAD-програм.

Методика. Використаний аналітичний метод векторного розрахунку просторових чотириланкових кривошипно-коромислових механізмів технологічних машин.

Результати. Отримані математичні моделі, що описують функції положення рухомих ланок та характерних точок просторового чотириланкового кривошипно-коромислового механізму з двома обертальними та двома сферичними кінематичними парами. Виконано схемотехнічне моделювання вказаного механізму, побудовані 3-D графіки візуалізації та анімації кінематичної схеми в прикладній програмі Mathcad.

Наукова новизна. Запропонований аналітичний метод дослідження просторових шарнірно-важільних механізмів на основі векторного перетворення координат, за допомогою якого створені математичні моделі та проведено схемотехнічне комп'ютерне моделювання типового просторового чотириланкового кривошипно-коромислового механізму з довільним розташуванням осі коромисла в прикладній CAD-програмі Mathcad.

Практична значимість роботи полягає у використанні одержаних результатів досліджень при проектуванні та кінематичному дослідженні цільових типових просторових механізмів швейних машин та основов'язальних машин.

Ключові слова: просторовий механізм, кривошипно-коромисловий механізм, векторний метод розрахунку, схемотехнічне проектування.

Вступ. У технологічних машинах легкої промисловості широко використовуються просторові шарнірно-важільні механізми для приводу робочих органів. Наприклад, просторовий чотириланковий кривошипно-коромисловий механізм використовується для приводу голки та петельника у швейних машинах оверлоках [1], у підшивочних швейних машинах [1], у ткацьких верстатах для приводу ремізопідйомної каретки [2] тощо.

Повсюдна комп'ютеризація та поява різних CAD-програм визначає провідне становище аналітичних методів дослідження механізмів машин. У технічній літературі описані різні методи математичного моделювання просторових механізмів, зокрема і векторний метод, описаний в роботах [3, 4], який дозволяє представити ланки механізму у вигляді вільних векторів, а характерні точки механізму (кінематичні пари, центри мас ланок тощо) у вигляді радіус-векторів. Таке векторне представлення просторового механізму дає змогу моделювати його кінематичну схему в прикладних CAD-програмах (наприклад, Mathcad) з використанням матриць перетворення (повороту, зсуву, масштабування) [4, 5, 6, 7], що значно спрощує процес моделювання механізму. Застосування програми Mathcad дозволяє проводити паралельні розрахунки кінематичних параметрів, здійснювати візуалізацію та анімацію кінематичної схеми механізму тощо [6, 7].

Тому розробка методів комп'ютерного моделювання механізмів технологічних машин

та застосування для цього сучасних прикладних комп'ютерних програм є своєчасним завданням.

Постановка завдання. Таким чином, завданням цього дослідження є створення математичних моделей, які описують функції положення рухомих ланок та характерних точок просторового чотириланкового кривошипно-коромислового механізму загального виду на основі аналітичного методу векторного перетворення координат; створення програмного коду на основі вказаних математичних залежностей; проведення схематичного моделювання кінематичної схеми з побудовою графіків візуалізації та анімації в прикладній програмі Mathcad.

Результати дослідження. Введемо праву систему координат (ПСК). Зазвичай в технологічних машинах галузі робочі органи отримують рух від механізмів, ведучі ланки яких закріплюються на головному валові. Отже вісь X спрямуємо вздовж осі головного вала, як зображено на рис. 1, вісь Y – вертикально вгору, а вісь Z спрямуємо так, щоб утворилась права система координат. Початок координат виберемо в точці P_1 .

Визначаємо вектор-ланку кривошип $P_{1,2}$, використовуючи обчислювальний блок функції користувача $Turn(V, V_0, \alpha, r)$ в Mathcad для 3-D повороту вектора [8]:

$$Proj(V, V_0) := V \cdot Ort(V_0) \cdot Ort(V_0), \quad (1)$$

$$Norm(V, V_0) := V - Proj(V, V_0), \quad (2)$$

$$Turn(V, V_0, \alpha, r) := \begin{pmatrix} Proj(V, V_0) + Norm(V, V_0) \cdot \cos(\alpha) \\ + Ort(V_0) \times Norm(V, V_0) \cdot \sin(\alpha) \end{pmatrix} \cdot \frac{r}{|V|}, \quad (3)$$

де V – вектор, що повертається; цим вектором є орт осі Y – $e_Y := (0 \ 1 \ 0)^T$ (верхній індекс T вказує на транспонування матриці-рядка);

V_0 – вектор, навколо якого здійснюється поворот вектора V ; цим вектором є орт осі X – $e_X := (1 \ 0 \ 0)^T$;

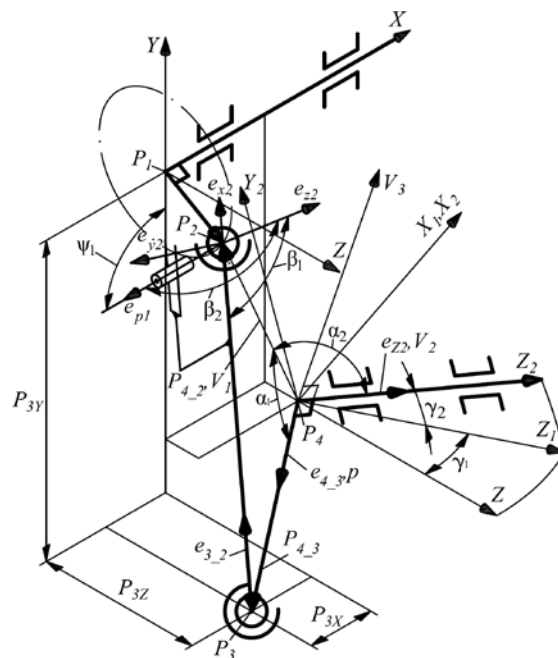


Рис. 1. Розрахункова схема просторового чотириланкового механізму

α – кут повороту вектора V ; цим кутом є кут f_1 повороту кривошипа, який

відраховується від осі Y ; при обертанні кривошипа проти годинникової стрілки (якщо дивитися з кінця осі X) кут f_1 має додатне значення, при обертанні кривошипа за годинниковою стрілкою – від’ємне;

r – довжина вектора V після повороту; відношення $\frac{r}{|V|}$ у виразі (3) є масштабним коефіцієнтом, який визначає довжину вектора V після його повороту;

$$Ort(V_0) – функція для визначення орта вектора V_0 ; $Ort(V_0) = \frac{V}{|V_0|}$.$$

Отже, вектор-ланка кривошип P_{1_2} визначатиметься таким виразом:

$$P_{1_2}(f_1) := Turn(e_Y, e_Y, f_1, l_{1_2}). \quad (4)$$

У виразі (4) кут повороту кривошипа описується дискретною змінною f_1 (*range variable*), яка змінюється від початкового значення f_0 до кінцевого значення f_{\max} з кроком Δf_1 :

$$f_1 := f_0, f_0 + \Delta f_1, \dots, f_{\max}. \quad (5)$$

Радіус-вектор кінематичної пари P_2 визначаємо на основі афінних перетворень:

$$P_2(f_1) := P_1 + P_{1_2}(f_1). \quad (6)$$

Визначаємо змінний вектор P_{4_2} як різницю радіус-векторів P_2 та P_4 :

$$P_{4_2}(f_1) := P_2(f_1) - P_4. \quad (7)$$

Прийmemo, що лінія коромисла (на кінематичній схемі механізму на рис. 1 – це лінія, що з’єднує точки P_4 та P_3) перпендикулярна до його осі коливання. В технологічних машинах галузі зустрічаються різні випадки розміщення осі коливання коромисла. Наприклад, в механізмі петельників швейної машини конструктивно-уніфікованого ряду КУР-51 [1], або в механізмі голки швейної машини КУР-85 [1] вісь коливання коромисла розміщується вздовж осі Z , а в механізмі голки швейної машини КУР-51 вісь коливання коромисла розміщується в площині YZ під кутом до осі Y . Щоб врахувати варіанти виконання механізмів введемо систему координат ПСК-2, в якій вісь коливання коромисла співпадає з віссю Z_2 . Приймемо, що для отримання осі Z_2 потрібно спочатку повернути ПСК на кут γ_1 навколо осі Y до суміщення з ПСК-1, а потім – ПСК-1 на кут γ_2 навколо X_1 до суміщення з ПСК-2. Якщо повороти навколо відповідних осей здійснюються проти годинникової стрілки, то значення кутів γ_1 та γ_2 додатні, якщо ж за годинниковою стрілкою – від’ємні.

Визначаємо орт осі коливання коромисла, e_{z2} який отримується в результаті вказаних вище поворотів ПСК:

$$e_{z2} := T_Y(\gamma_1) \cdot T_X(\gamma_2) \cdot e_Z, \quad (8)$$

де $T_Y(\gamma_1)$ та $T_X(\gamma_2)$ – матриці повороту розміром 3×3 (нижні індекси X та Y в позначенні матриці вказують навколо яких осей координат здійснюється поворот):

$$T_Y(\gamma_1) := \begin{pmatrix} \cos(\gamma_1) & 0 & \sin(\gamma_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\gamma_1) & 0 & \cos(\gamma_1) \end{pmatrix}; \quad T_X(\gamma_2) := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\gamma_2) & -\sin(\gamma_2) \\ 0 & \sin(\gamma_2) & \cos(\gamma_2) \end{pmatrix}, \quad (9)$$

e_Z – орт осі Z , компоненти якого збігаються з координатами орта e_{z2} осі Z_2 в ПСК-2, тобто $e_Z := (0 \ 0 \ 1)^T$.

Для визначення радіус-вектора P_3 , який характеризує кінематичну пару шатун-коромисло, скористаємося векторним методом розрахунку просторових кривошипно-коромислових механізмів (ПККМ) з [4]. Складемо програмний код функції користувача в Mathcad для опису орта p коромисла в загальному випадку:

$$\begin{array}{l}
 V_3 \leftarrow V_1 \times V_2 \quad \text{рядок 1} \\
 Proj_V_1 \leftarrow |V_1| \cdot \cos(\alpha_1) \quad \text{рядок 2} \\
 Proj_V_2 \leftarrow |V_2| \cdot \cos(\alpha_2) \quad \text{рядок 3} \\
 B_1 \leftarrow V_{2z} \cdot Proj_V_1 - V_{1z} \cdot Proj_V_2 \quad \text{рядок 4} \\
 B_2 \leftarrow V_{1y} \cdot Proj_V_2 - V_{2y} \cdot Proj_V_1 \quad \text{рядок 5} \\
 p_x \leftarrow \frac{\left(- (V_{3y} \cdot B_1 + V_{3z} \cdot B_2) \dots \right.}{\left. + W \cdot \sqrt{(V_{3y} \cdot B_1 + V_{3z} \cdot B_2)^2 \dots} \right)}{\left(|V_3| \right)^2} \quad \text{рядок 6} \\
 p_y \leftarrow \frac{p_x \cdot V_{3y} + B_1}{V_{3x}} \quad \text{рядок 7} \\
 p_z \leftarrow \frac{p_x \cdot V_{3z} + B_2}{V_{3x}} \quad \text{рядок 8} \\
 p \leftarrow \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} \quad \text{рядок 9} \quad , (10)
 \end{array}$$

В рядку 1 програмного коду (10), згідно з векторним методом розрахунку ПККМ [4], визначається векторний добуток двох векторів V_1 та V_2 . В рядках 2 та 3 визначаються проекції векторів V_1 та V_2 на напрямок орта p . Кути α_1 та α_2 визначають нахил до орта p відповідних векторів V_1 та V_2 . Параметри B_1 та B_2 в рядках 4 та 5 відповідно до векторного методу [4] визначаються таким чином. Запишемо в розгорнутому вигляді скалярні добутки векторів V_1 з p та V_2 з p , враховуючи те, що $|p|=1$:

$$V_1 \cdot p = V_{1x} \cdot p_x + V_{1y} \cdot p_y + V_{1z} \cdot p_z = |V_1| \cdot |p| \cdot \cos(\alpha_1) = |V_1| \cdot \cos(\alpha_1) = Proj_V_1, \quad (11)$$

$$V_2 \cdot p = V_{2x} \cdot p_x + V_{2y} \cdot p_y + V_{2z} \cdot p_z = |V_2| \cdot |p| \cdot \cos(\alpha_2) = |V_2| \cdot \cos(\alpha_2) = Proj_V_2. \quad (12)$$

З виразів (11) та (12) виразимо p_y та p_z :

$$p_y = \frac{p_x \cdot (V_{1z} \cdot V_{2x} - V_{2z} \cdot V_{1x}) + [V_{2z} \cdot Proj_V_1 - V_{1z} \cdot Proj_V_2]}{(V_{1y} \cdot V_{2z} - V_{2y} \cdot V_{1z})}, \quad (13)$$

$$p_z = \frac{p_x \cdot (V_{1x} \cdot V_{2y} - V_{2x} \cdot V_{1y}) + [V_{1y} \cdot Proj_V_2 - V_{2y} \cdot Proj_V_1]}{(V_{1y} \cdot V_{2z} - V_{2y} \cdot V_{1z})}. \quad (14)$$

У виразах (13) та (14) в чисельниках другі доданки в квадратних дужках позначимо відповідно параметрами $B_1 = V_{2z} \cdot Proj_{-V_1} - V_{1z} \cdot Proj_{-V_2}$ та $B_2 = V_{1y} \cdot Proj_{-V_2} - V_{2y} \cdot Proj_{-V_1}$; ці параметри записані в рядках 4 та 5 програмного коду (10). З урахуванням цього можна записати:

$$p_Y = \frac{p_X \cdot (V_{1z} \cdot V_{2x} - V_{2z} \cdot V_{1x}) + B_1}{(V_{1y} \cdot V_{2z} - V_{2y} \cdot V_{1z})}, \quad p_Z = \frac{p_X \cdot (V_{1x} \cdot V_{2y} - V_{2x} \cdot V_{1y}) + B_2}{(V_{1y} \cdot V_{2z} - V_{2y} \cdot V_{1z})}$$

З урахуванням компонентів векторного добутку векторів V_1 та V_2 :

$$V_3 = V_1 \times V_2 = \begin{pmatrix} V_{3x} \\ V_{3y} \\ V_{3z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{1y} \cdot V_{2z} - V_{2y} \cdot V_{1z} \\ V_{1z} \cdot V_{2x} - V_{2z} \cdot V_{1x} \\ V_{1x} \cdot V_{2y} - V_{2x} \cdot V_{1y} \end{pmatrix}, \quad (15)$$

вирази (13) та (14) можна переписати таким чином:

$$p_Y = \frac{p_X \cdot V_{3y} + B_1}{V_{3x}}, \quad (16)$$

$$p_Z = \frac{p_X \cdot V_{3z} + B_2}{V_{3x}}. \quad (17)$$

Отже у виразах (16) та (17) ми отримали відповідно другий та третій компоненти орта p , які записані в рядках 7 та 8 програмного коду (10).

Перший компонент орта p , який записаний в рядку 6, згідно з векторним методом розрахунку ПККМ [4], визначається із розгорнутого запису скалярного квадрата орта p , що дорівнює одиниці, з підстановкою до нього виразів (16) та (17) та розв'язку отриманого квадратного рівняння відносно p_X , тобто:

$$p_X^2 + p_Y^2 + p_Z^2 = 1 \Rightarrow p_X^2 + \left(\frac{p_X \cdot V_{3y} + B_1}{V_{3x}} \right)^2 + \left(\frac{p_X \cdot V_{3z} + B_2}{V_{3x}} \right)^2 = 1, \quad (18)$$

звідки

$$\left((V_{3x})^2 + (V_{3y})^2 + (V_{3z})^2 \right) \cdot p_X^2 + 2 \cdot (V_{3y} \cdot B_1 + V_{3z} \cdot B_2) \cdot p_X + (B_1^2 + B_2^2 - (V_{3x})^2) = 0. \quad (19)$$

У рівнянні (19) множник при p_X^2 є скалярним квадратом вектора V_3 , з урахуванням чого це рівняння можна переписати таким чином:

$$\left(|V_3|^2 \right) \cdot p_X^2 + 2 \cdot (V_{3y} \cdot B_1 + V_{3z} \cdot B_2) \cdot p_X + (B_1^2 + B_2^2 - (V_{3x})^2) = 0, \quad (20)$$

звідки

$$p_X = \frac{-(V_{3y} \cdot B_1 + V_{3z} \cdot B_2) + W \cdot \sqrt{(V_{3y} \cdot B_1 + V_{3z} \cdot B_2)^2 - (|V_3|^2) \cdot (B_1^2 + B_2^2 - (V_{3x})^2)}}{(|V_3|^2)}, \quad (21)$$

У рівнянні (21) параметр W визначає конструктивно правильне складання механізму і може приймати значення «+1», або «-1».

В останньому рядку 9 програмного коду (10) записаний орт p у вигляді матриці-стовпця з компонентами p_X , p_Y , та p_Z . Добуток довжини вектора-ланки на її орт p , визначений за виразом (10), у результаті визначає саму вектор-ланку у вигляді вільного вектора.

Тепер, використовуючи програмний код (10), визначаємо орт $e_{4,3}$ вектора-ланки

шатуна P_{4_3} :

$$e_{4_3}(f_1) := p(P_{4_2}(f_1), e_{z2}, \alpha_1(f_1), \alpha_2, W_{2_3_4}), \quad (22)$$

де $\alpha_1(f_1)$ – змінний кут між векторами P_{4_3} та P_{4_2} , який можна визначити за функцією користувача повороту вектора T_{cos} [8]:

$$T_{cos}(l_1, l_2, l_3) := \arccos\left(\frac{l_1^2 + l_2^2 - l_3^2}{2 \cdot l_1 \cdot l_2}\right) \Rightarrow \alpha_1(f_1) := T_{cos}(P_{4_2}(f_1), l_{4_3}, l_{3_2}), \quad (23)$$

$W_{2_3_4}$ – параметр, який визначає варіант складання механізму; якщо на кінематичній схемі механізму на рис. 1 обхід контуру $P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_2$ здійснюється за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з кінця осі X , то $W_{2_3_4} = 1$, якщо ж проти годинникової стрілки, то $W_{2_3_4} = -1$; для механізму на рис. 1 $W_{2_3_4} = -1$;

α_2 – кут між векторами e_{z2} та P_{4_3} , який для механізму, що розглядається, дорівнює $\alpha_2 = 90^\circ$.

Визначаємо вектор-ланку коромисла P_{4_3} :

$$P_{4_3}(f_1) := e_{4_3}(f_1) \cdot l_{4_3}. \quad (24)$$

Радіус-вектор кінематичної пари P_3 визначаємо на основі афінних перетворень:

$$P_3(f_1) := P_4 + P_{4_3}(f_1). \quad (25)$$

Визначаємо вектор-ланку шатун P_{3_2} :

$$P_{3_2}(f_1) := P_2(f_1) - P_3(f_1). \quad (26)$$

Зазвичай в просторових чотириланкових кривошипно-коромислових механізмах технологічних машин галузі обмежується рух шатуна, для чого застосовується напрямна, що кріпиться до шатуна, та палець кривошипа, який взаємодіє з цією напрямною. Таким чином усувається один ступінь вільності сферичної кінематичної пари P_2 . Таке усунення ступеня вільності не впливає на функцію положення вихідної ланки, а надає певної визначеності в русі самого шатуна [4], що може бути корисним у випадку, коли, наприклад, робочий орган належить шатуну, або при проведенні розрахунків кінематичних пар, які утворює шатун з ланками механізму, на інтенсивність зносу, тощо.

Для визначення функції положення довільної точки шатуна, введемо в розгляд рухому ПСК x_2, y_2, z_2 з відповідними ортами її осей e_{x2}, e_{y2}, e_{z2} та з початком в точці P_2 . Орт e_{x2} спрямовується уздовж вектора шатуна P_{3_2} і визначається з виразу:

$$e_{x3_2}(f_1) := \text{Ort}(P_{3_2}(f_1)). \quad (27)$$

Напрямок орта e_{z2} зв'язаний з напрямком орта e_{p1} пальця кривошипа, який визначається з виразу:

$$e_{p1} := T_z(\psi_1) \cdot T_x(\psi_2) \cdot e_y, \quad (28)$$

де $T_z(\psi_1)$ – матриця повороту навколо осі Z на кут ψ_1 ; зазвичай $\psi_1 = 90^\circ$;

$T_x(\psi_2)$ – матриця повороту навколо осі X на кут ψ_2 ; зазвичай $\psi_2 = 0^\circ$;

e_y – орт осі Y ПСК.

Орт e_{z2} визначається із застосуванням програмного коду (10):

$$e_{z2}(f_1) := p(e_{p1}, e_{x2}(f_1), \beta_1, \beta_2, W_p), \quad (29)$$

де β_1 та β_2 – кути між ортом e_{z2} та відповідно ортом пальця кривошипа e_{p1} та ортом осі x_2 рухомої ПСК e_{x2} ; зазвичай в механізмах технологічних машин $\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$;

W_p – параметр, що визначає напрямок орта e_{z2} та може приймати значення «+1» або «-1»; для вибору значення параметра W_p слід виконати візуалізацію кінематичної схеми механізму.

Орт e_{y2} осі y_2 рухомої ПСК визначається як векторний добуток ортів e_{z2} та e_{x2} :

$$e_{y2}(f_1) := e_{z2}(f_1) \times e_{x2}. \quad (30)$$

Для побудови 3-D графіка візуалізації кінематичної схеми механізму та виконання її анімації в Mathcad введемо анімаційну змінну F_1 :

$$F_1 := \text{Rotation}_1 \cdot \text{FRAME} \cdot 10 + f_0, \quad (31)$$

де Rotation_1 – змінна, що визначає напрямок повертання кривошипа P_{1_2} ; якщо кривошип P_{1_2} обертається за годинниковою стрілкою (якщо дивитися з кінця осі X), то $\text{Rotation}_1 = -1$, якщо ж проти годинникової стрілки – $\text{Rotation}_1 = 1$.

Введемо вирази для побудови 3-D графіка візуалізації кінематичної схеми механізму в Mathcad:

$$L_M(F_1, K) := \text{stack}(P_{0K}, P_{1K}, P_2(F_1)_K, P_3(F_1)_K, P_{4K}, P_{5K}), \quad (32)$$

де stack – вбудована в Mathcad функція вертикального об'єднання векторів [6, 7];

$$\text{Plot}_M := \begin{pmatrix} L_M(F_1, X) \\ L_M(F_1, Y) \\ L_M(F_1, Z) \end{pmatrix}. \quad (33)$$

З використанням виразу (33) побудований графік візуалізації кінематичної схеми просторового чотириланкового механізму на рис. 2, на якому зображені вал кривошипа 1, кривошип 2, шатун 3, коромисло 4, вісь (вал) коромисла 5, траєкторія точки P_2 6, траєкторія P_3 7, та проекції траєкторії 7 на координатні площини ПСК XY 8, XZ 9 та YZ 10.

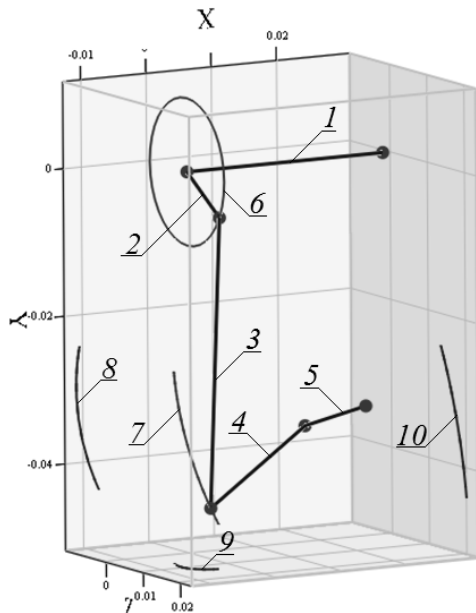


Рис. 2. Графік в Mathcad візуалізації та анімації кінематичної схеми просторового чотириланкового механізму

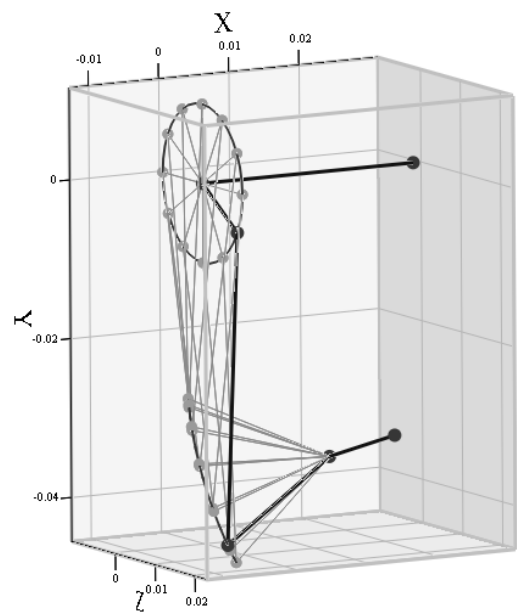


Рис. 3. Графік в Mathcad візуалізації та анімації 12-ти положень просторового чотириланкового механізму

Анімація кінематичної схеми механізму за рис. 2 та 12-ти його положень за рис. 3 представлена за посиланням [9].

Висновки. Отримані математичні вирази, що описують функції положення рухомих ланок у вигляді векторів-ланок та функції положення характерних точок у вигляді радіус-векторів, на основі яких створений програмний код для схемотехнічного комп'ютерного моделювання кінематичної схеми просторового чотириланкового кривошипно-коромислового механізму з двома обертальними та двома сферичними кінематичними парами та з довільним розташуванням осі коромисла із застосуванням програми Mathcad. Побудовані 3-D графіки візуалізації та анімації кінематичної схеми механізму в прикладній комп'ютерній програмі Mathcad. Результати дослідження можуть бути використані для подальшого дослідження кінематики та динаміки подібних просторових механізмів із застосуванням методу векторного перетворення координат, а також для визначення взаємних переміщень характерних точок робочих органів технологічних машин легкої промисловості у режимі реального часу із застосуванням прикладної програми Mathcad. Результати досліджень впроваджені в навчальні дисципліни «Схемотехнічне проектування машин» та «Розрахунок та конструювання типових машин» кафедри прикладної механіки та машин КНУТД.

Список використаних джерел

1. Сторожев В. В. Машины и аппараты легкой промышленности / В. В. Сторожев – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 400 с. – ISBN 978-5-7695-5965-5.
2. Талавашек О. Бесчелночные ткацкие станки / Олджих Талавашек, Владимир Святый – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 335 с.
3. Йосилевич Г. Б. Прикладная механика / Г. Б. Йосилевич, П. А. Лебедев, В. С. Стреляев – М.: Машиностроение, 1985. – 576 с.
4. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.
5. Доронин Ф. А. Исследование кинематики пространственного механизма параллельной структуры в среде Mathcad [електронний ресурс] / Ф. А. Доронин // Теория механизмов и машин. – 2015. – № 3. Том 13. С. 27-36. – Режим доступу до журн.: http://tmm.spbstu.ru/27/Doronin_27.pdf.
6. Бертяев В. Д. Теоретическая механика на базе MathCAD / В. Д. Бертяев – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 752 с. – ISBN 5-94157-625-0.
7. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в MathCAD. Учебный курс. / Е. Г. Макаров – СПб. : Питер, 2005. – 448 с. – ISBN 5-94723-530-7.
8. Орловський Б. В. Схемотехнічне моделювання 3D-механізму вушкових голок міні-основов'язальної машини / Б. В. Орловський, В. М. Дворжак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2012. – № 3. – С. 86-93.
9. Владимир Дворжак. (2016) Пространственный кривошипно-коромысловый механизм [відеокліп] / YouTube. 7 лютого (<https://youtu.be/8D1q2aURzpQ>)

СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧЕТЫРЕХЗВЕННЫХ КРИВОШИПНО- КОРОМЫСЛОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

ДВОРЖАК В. М.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Совершенствование методов проектирования целевых механизмов технологических машин легкой промышленности с применением прикладных САД-программ.

Методика. Использован аналитический метод векторного расчета пространственных четырехзвенных кривошипно-коромысловых механизмов технологических машин.

Результаты. Получены математические модели для кинематики и схемотехнического моделирования пространственного четырехзвенного кривошипно-коромыслового механизма с двумя вращательными и двумя сферическими кинематическими парами в приложении Mathcad.

Научная новизна. Предложен аналитический метод исследования пространственных шарнирно-рычажных механизмов на основе векторного преобразования координат, с помощью которого созданы математические модели и проведено схемотехническое компьютерное моделирование типового пространственного четырехзвенного кривошипно-коромыслового механизма с произвольным расположением оси коромысла в прикладной САД-программе Mathcad.

Практическая значимость работы состоит в использовании полученных результатов исследований при проектировании целевых типовых пространственных механизмов швейных машин и основовязальных машин.

Ключевые слова: *пространственный механизм, кривошипно-коромысловый механизм, векторный метод расчета, схемотехническое проектирование.*

CIRCUIT SIMULATION KINEMATIC SCHEME OF SPATIAL FOUR CRANK- ROCKER MECHANISMS OF TECHNOLOGICAL MACHINES

DVORZHAK V. M.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Improved methods of designing mechanisms of technological machines targeted industry applications using CAD-programs.

Methodology. The used analytical method for calculating the spatial vector four-crank-rocker mechanisms technological machines.

Findings. The mathematical model describing the function of the position of moving parts and points of spatial four-crank-rocker mechanism with two rotational and two spherical kinematic pairs. Completed circuit simulation indicated a mechanism built 3-D graphics rendering and animation kinematic scheme in Mathcad.

Originality. The proposed analytical method study of spatial lever mechanisms based vector coordinate transformation by which created the code and schematic conducted computer simulation model of spatial four-crank-rocker mechanism random arrangement of the axis of the beam in applied CAD-program Mathcad.

Practical Value of the work is the use of the results of research in the design of the typical models spatial mechanisms of sewing machines and warp knitting machines.

Keywords: *spatial mechanism, crank mechanism, vector calculation method, circuit design.*