

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПРОСТОРОВОГО МЕХАНІЗМУ

І. Ніщенко, к. ф.-м. н., П. Коруняк, к. т. н.

Львівський національний аграрний університет

І. Ніщенко, к. ф.-м. н.

*Національний технічний університет України „Київський
політехнічний інститут”, м. Київ*

Постановка проблеми. Кінематичний аналіз просторових механізмів може бути проведений як графічним [2], так і аналітичним методами. Але аналітичний спосіб, за використання сучасної обчислювальної техніки, дає змогу провести дослідження в більшому обсязі і отримати точніші результати.

Однією із задач кінематичного аналізу механізмів є визначення положення ланок механізму і їх кутових швидкостей у межах одного періоду руху ведучої ланки та знаходження траєкторії переміщення і швидкостей характерних точок окремих ланок. Визначення траєкторії допомагає виявити картину взаємного розміщення ланок протягом одного періоду руху, що особливо важливо при переміщенні ланок у корпусі, коли є загроза їх взаємного зачеплення, яке може призвести до руйнування машини [1; 3; 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У деяких роботах Є. Й. Сичина, Г. О. Токарева дослідження просторових багатоланкових механізмів задачі аналізу і синтезу розв'язувались графічними методами, зокрема за допомогою методів геометричного перетворення простору. В останніх публікаціях та підручниках з теорії механізмів і машин [5] в основному розглядається синтез плоских механізмів і недостатня увага приділяється дослідженню просторових механізмів, які використовуються в сільськогосподарських машинах. Мало робіт, у яких дослідження просторових механізмів проводять із застосуванням аналітичних методів [2], що забезпечують високу точність визначення конструктивних та кінематичних параметрів, дають змогу оптимізувати задачі їх синтезу.

Постановка завдання. Метою дослідження є застосування аналітичного способу до розв'язку однієї із задач кінематичного аналізу руху просторового механізму, визначення положення та кутових швидкостей ланок механізму і траєкторії руху та швидкостей окремих точок ланок механізму при переміщенні робочого органа на певну відстань.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження положення ланок та побудови траєкторії руху характерних точок розглянемо просторовий механізм (рис.1), який знайшов широке застосування в проектуванні сільськогосподарських збиральних машин [5].

Він складається з п'яти ланок. У точках D і C ланки механізму з'єднані обертальними парами, осі яких перпендикулярні до площини uOz , тобто ланка DC здійснює обертальний рух у площині uOz , а ланка BC – плоский рух у цій же

площині. Координати точки B під час руху механізму, коли змінюються кути повороту ланок DC φ і CB ψ , будуть такими:

$$\begin{aligned} x_B &= 0; \quad y_B = y_D - L_1 \sin \varphi + L_2 \cos \psi; \\ z_B &= z_D + L_1 \cos \varphi + L_2 \sin \psi, \end{aligned} \quad (1)$$

де L_1, L_2, L_3 – довжини ланок: $L_1=L_{DC}$, $L_2=L_{BC}$, $L_3=L_{BE}$.

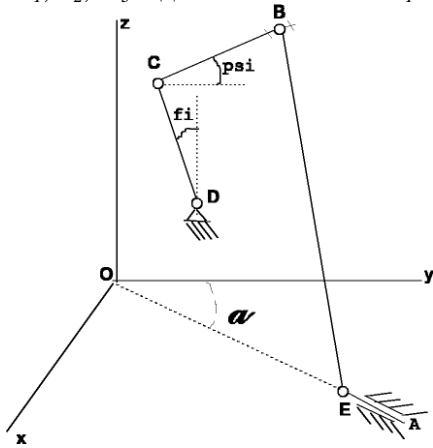


Рис. 1. Схема механізму.

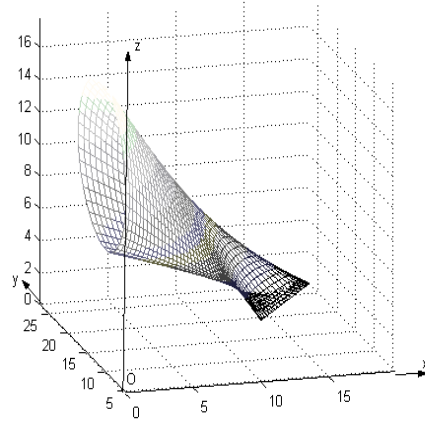


Рис. 2. Поверхня, яку описує ланка BE .

У точці B ланки також з'єднані обертальною парою, вісь якої лежить у площині yOz і перпендикулярна до ланки BC . Ланки BE і EA з'єднані в точці E сферичною парою, причому ланка EA рухається поступально у площині xOy вздовж напрямної OA , яка утворює з віссю Oy кут α . Координати точки E можна записати так:

$$x_E = OE \sin \alpha; \quad y_E = OE \cos \alpha; \quad z_E = 0. \quad (2)$$

На основі геометрії конструкції механізму координати точок B і E у довільний момент часу повинні задовольняти дві такі рівності:

$$\begin{aligned} (y_E - y_B)^2 + x_E^2 + z_B^2 &= L_3^2; \\ (y_E - y_B) \cos \psi - z_B \sin \psi &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Якщо підставити вирази (1) і (2) у (3), то одержимо систему двох рівнянь, з яких можна знайти кут ψ і довжину OE як функції незалежної змінної φ (кута повороту кривошипа DC):

$$\begin{aligned} (OE \cos \alpha - y_D + L_1 \sin \varphi - L_2 \cos \psi)^2 + (OE \sin \alpha)^2 + \\ + (z_D + L_1 \cos \varphi + L_2 \sin \psi)^2 &= L_3^2; \\ (OE \cos \alpha - y_D + L_1 \sin \varphi - L_2 \cos \psi) \cos \psi - \\ - (z_D + L_1 \cos \varphi + L_2 \sin \psi) \sin \psi &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Друге рівняння можна розв'язати відносно OE :

$$OE = \frac{y_D - L_1 \sin \varphi + (z_D + L_1 \cos \varphi) \operatorname{ctg} \psi + L_2}{\cos \alpha}. \quad (5)$$

Якщо підставити вираз (5) у перше рівняння (4), то одержимо рівняння відносно однієї змінної функції $\psi(\varphi)$. На жаль, це рівняння неможливо розв'язати аналітично, а тому доводиться звертатись до числових методів (надавати куту φ числові значення і знаходити відповідні значення кута ψ та довжину OE).

Взявши похідні за часом від рівностей (4), одержимо систему лінійних рівнянь відносно кутової швидкості $\dot{\psi}$ шатуна і лінійної швидкості V_E точки E . Розв'язавши систему рівнянь, знаходимо V_E і $\dot{\psi}$:

$$V_E = \omega \frac{c_2 a_1 - c_1 a_2}{a_1 b_2 - a_2 b_1}; \quad \dot{\psi} = \omega \frac{c_1 b_2 - c_2 b_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1}, \quad (6)$$

де ω – кутова швидкість кривошипа DC ,

$$a_1 = L_2 ((y_E - y_B) \sin \psi + z_B \cos \psi);$$

$$b_1 = (y_E - y_B) \cos \alpha + OE \sin^2 \alpha;$$

$$c_1 = L_1 (-(y_E - y_B) \cos \varphi + z_B \sin \varphi),$$

$$a_2 = -(y_E - y_B) \sin \psi - z_B \cos \psi;$$

$$b_2 = \cos \alpha \cos \psi; \quad c_2 = -L_1 \cos(\varphi - \psi).$$

Моделювання проводили у середовищі MATLAB [6] за таких числових значень параметрів механізму: $\alpha = \pi/5$, $y_D = 8$ см, $z_D = 10$ см, $L_1 = 6$ см, $L_2 = 4$ см, $L_3 = 25$ см. На рис. 2 зображено поверхню, яку описує ланка BE механізму за один оберт ведучої ланки DC . На рис. 3 показано залежність переміщення S ножа A від кута φ (рад) повороту кривошипа DC та зміну швидкості V (в частках ω) ножа. З рис. 3 видно, що хід ножа, при даних значеннях параметрів, становить 9,9 см, а крайні положення досягаються при значеннях кута повороту $\varphi_1 = 0,95$ рад і $\varphi_2 = 4,10$ рад. На рис. 4 показано, як змінюється кут повороту ψ (рад) та кутова швидкість $\dot{\psi}$ (у частках ω) ланки CB залежно від кута повороту φ ведучої ланки DC .

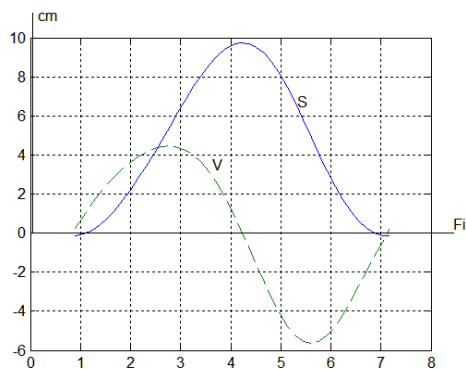


Рис. 3. Хід ножа S і швидкість V .

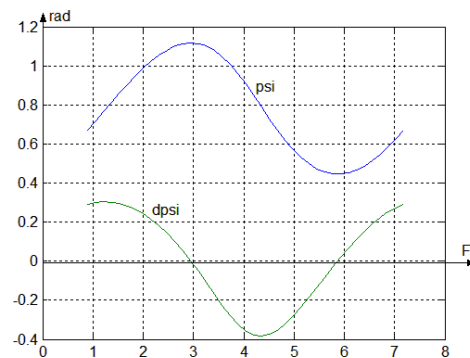


Рис. 4. Кут повороту BC і її кутова швидкість.

Висновки. 1. Досліджено кінематику руху ланок просторового механізму, який використовується в проектуванні сільськогосподарських збиральних машин, що дає змогу оцінити ефективність його використання.

2. Показано, що аналітичний спосіб дає змогу з достатньою точністю визначати положення ланок у довільний момент часу і цей метод доцільно використовувати для дослідження складних просторових механізмів.

Бібліографічний список

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1988. – 640 с.
2. Дослідження просторового механізму із застосуванням способів перетворення проєкцій / В. Виходець, І. Ніщенко, П. Коруняк, І. Стукалець // Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження. – 2013. – № 17. – С. 267-271.
3. Зиновьев В. А. Курс теории механизмов и машин / В. А. Зиновьев. – М. : Наука, 1975. – 384 с.
4. Кінницький Я. Т. Короткий курс термії механізмів і машин / Я. Т. Кінницький. – Львів : Афіша, 2004. – 268 с.
5. Летошнев М. Н. Сельскохозяйственные машины: теория, расчет, проектирование, испытание / М. Н. Летошнев. – М. : Гос. изд-во с.-х. лит., 1955. – 764 с.
6. Потемкин В. Г. Вычисления в среде MATLAB / В. Г. Потемкин. – М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2004. – 720 с.

Ніщенко І., Коруняк П. Аналітичне дослідження кінематики просторового механізму

Проведено дослідження кінематики просторового механізму аналітичним способом. Визначено положення ланок механізму, яке відповідає робочому ходу S ланки A , траєкторій точок C , B , кутові швидкості ланок і лінійні швидкості характерних точок ланок механізму.

Ключові слова: просторовий механізм, ланка, кривошип, шатун, оберտальна пара, сферична пара, кут повороту, кутова швидкість, траєкторія руху.

Nichshenko I., Korunyak P., Nichshenko I. Analytical study of kinematics spatial mechanism

A study of spatial kinematics mechanism analytically. Defined position units mechanism that meets the working of the S level A trajectory points C, B, angular velocity components and linear velocity characteristic points of the links of the mechanism.

Key words: spatial mechanism, link, crank, rotating pair, spherical pair, angle, angular velocity, trajectory.

Нищенко И., Коруняк П., Нищенко И. Аналитическое исследование кинематики пространственного механизма

Проведено исследование кинематики пространственного механизма аналитическим способом. Определено положение звеньев механизма, соответствующее рабочему ходу S звена A , траектории точек C , B , угловые скорости звеньев и линейные скорости характерных точек звеньев механизма.

Ключевые слова: пространственный механизм, звено, кривошип, шатун, вращательная пара, сферическая пара, угол поворота, угловая скорость, траектория движения.