

УДК 686.1.056

**КІНЕМАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ  
ШАРНІРНО-ВАЖІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ  
ПРИВОДА НОЖА  
ОДНОНОЖЕВОЇ РІЗАЛЬНОЇ МАШИНИ  
АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ**

© С. Л. Панов, к.т.н., доцент, О. Р. Юланова,  
НТУУ «КПІ», Київ, Україна

**Составлены уравнения построения математической модели механизма ножа с точки зрения кинематики, в результате решения которых, построены графики угловых перемещений, скоростей и ускорений звеньев механизма ножа на рычагах.**

**Contingency equation for constructing a mathematical model of the mechanism knife in terms of kinematics, as a result of which we construct graphs of angular displacement, velocity and acceleration levels of the mechanism knife to lever.**

**Постановка проблеми**

Створення будь-яких машин супроводжується здійсненням різноманітних розрахунків, пов'язаних з проектуванням механізмів, конструюванням деталей машин та оцінкою ресурсу їхньої працездатності. Особливу роль серед них відіграють кінематичні розрахунки, що передують іншим етапам роботи. За результатами цих розрахунків обирають матеріали деталей, їхні геометричні розміри та форму.

При дослідженнях механізмів приводів поліграфічних машин виникає питання про попередній аналіз впливаючих параметрів механізму. Доцільно виконувати цей аналіз на математичній моделі механізму, щоб відокремити ті параметри, які необхідно досліджувати експериментально. Тому актуальним стає питання розробки в аналітичному виді моделі механізму, виділення його параметрів і їх

дослідження із застосуванням комп'ютерної техніки.

Важливим на сьогодні залишається питання вдосконалення одноножових різальних машин, а саме механізму привода ножа.

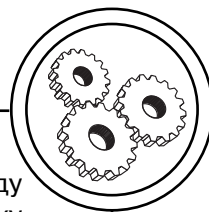
Моделювання передбачає побудову діючої матеріальної або математичної моделі, що має подібні властивості до системи, котра розглядається. Тому воно дозволяє імітувати функціонування системи і приймати рішення відносно вибору її найкращого варіанта, конструктивних параметрів, фактично не маючи діючого взірця.

При автоматизованому проектуванні використовують, як правило, математичні моделі об'єктів проектування [1].

**Аналіз попередніх досліджень**

У процесі пошуку оптимального виду руху ножа змінювалася його конструкція.

## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ



На даний момент шабельний рух ножа є загальноприйнятим у всіх сучасних різальних машинах. Відмінності є лише у конструктивному виконанні механізмів приводу, параметрах руху і розмірах окремих деталей [2].

Механічний привод реалізує рух ножа двома способами: за рахунок руху ножотримача у направляючих посередництвом повзунів і за рахунок руху підвіски ножотримача важільною системою [3].

Використовувалися в основному механізми на сухарях. Механізми мали як односторонній, так і двосторонній привод [2]. Також використовувалися конструкції як з одним повзуном, при цьому рух ножа був похило-паралельним, так і з двома, встановленими під різними кутами для реалізації шабельного руху.

У якості ведучої ланки застосовують кривошипи, хоча є спроби використовувати гідравлічний привод у виді гідроциліндра.

Шабельний рух ножа у різних моделях машин реалізують по-різному. У машинах моделей БР-119, БР-4, БР-3, БРП-1 такий рух отримується за рахунок різних кутів нахилу пазів ножотримача, які ковзають по опорним сухарям станини.

У машині БРП-2 шабельний рух отримується за рахунок різної довжини підвісок, а в машині БРП-4 — за рахунок різної висоти розміщення точок закріплення підвісок.

У машинах типу БР-136 був застосований багатоланковий двобічний привод, шабельний рух отримується за рахунок різної довжини тяг [4].

Вивчаючи механізм приводу ножа та форму шабельного руху доцільним є проведення кінематичного аналізу самого механізму.

Метою кінематичного аналізу плоских шарнірно-важільних механізмів є побудова траєкторій, визначення швидкостей та прискорень ланок та окремих точок при заданому законі руху ведучої ланки.

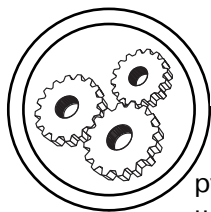
Траєкторії різних точок механізму дозволяють конструктору вибрати раціональну форму корпусу. За траєкторією точки робочого органу оцінюється відповідність механізму умовам робочого процесу, що виконується. При аналітичній побудові траєкторій необхідне знання функцій положень механізмів від узагальненої координати.

Швидкості та прискорення ланок і точок механізмів використовуються при динамічному дослідженні — це визначення потужності сил, кінетичної енергії ланок, сил інерції, тертя, реакцій в кінематичних парах.

Визначення функцій положення, швидкостей та прискорень може виконуватися різними методами: графічними, графоаналітичними та аналітичними. Найбільшу наглядність та простоту мають графічні методи, але похибка розрахунку параметрів до 10 %. Сучасні пакети програм персональних комп'ютерів дозволяють використовувати аналітичні методи, які є по суті універсальні і не мають обмежень по точності [5].

### Мета роботи

Побудова математичної моделі механізму ножа з точки зо-



## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

ру його кінематики, застосувавши метод замкнених векторних контурів, і налагодження комп'ютерних програм для реалізації даного кінематичного аналізу.

### Результати проведених досліджень

Безпосереднє обчислення положень ланок і координат точок, швидкостей і прискорень відомих ланок багатоланкових механізмів за заданими положеннями швидкості і прискорення початкової ланки має значні труднощі, тому практично більш зручно процес розрахунку будувати на основі структурного аналізу механізму. Оскільки механізм ножа, що розглядається є складним за своєю побудовою і належить до механізмів III класу, то доцільним є його дослідження на основі розкладу на двоповодкові групи. Таким чи-

ном задача про аналітичну кінематику багатоланкового механізму зведена до задачі про аналітичну кінематику простіших структурних груп.

Механізми, які складаються з двоповодкових груп, єдині, для яких розрахунок можливо побудувати точно [6].

Для аналітичного дослідження даного механізму використовується метод замкнених векторних контурів.

Згідно з методом ланки механізму показують як вектори. Оскільки механізм замкнений, то ці вектори утворюють замкнені контури. Векторні рівняння замкнених контурів проєкціюють на осі координат. Здобути таким чином системи алгебраїчних рівнянь дають можливість визначити положення ланок механізму: кутів повороту та переміщення.

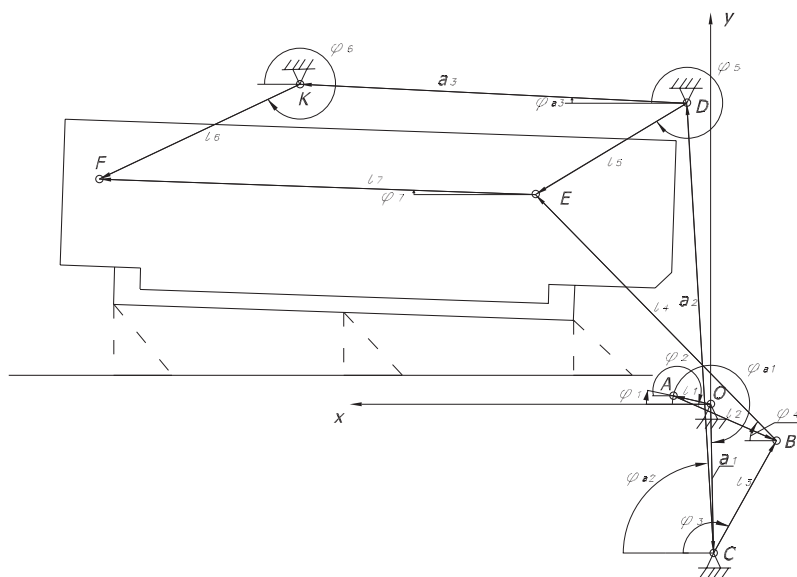
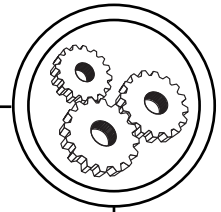


Рис. 1. Кінематична схема механізму ножа на підвісках OPM замкнена векторними контурами

## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ



Послідовно диференціюючи ці залежності отримують рівняння для визначення швидкостей та прискорень [7].

Об'єктом дослідження є одноножева різальна машина на підвісках (рис. 1), схема якої наближена до схеми машини БР-125.

Схема механізму ножа даної машини розбивається на 3 чотириланника, кожен з яких безпосередньо утворює замкнений векторний контур.

Перший замкнений контур (1) OABC, другий (2) — CDEB, третій (3) — DEFK:

$$\bar{l}_1 + \bar{l}_2 = \bar{a}_1 + \bar{l}_3, \quad (1)$$

$$\bar{l}_3 + \bar{l}_4 = \bar{a}_2 + \bar{l}_5, \quad (2)$$

$$\bar{l}_5 + \bar{l}_7 = \bar{a}_3 + \bar{l}_6. \quad (3)$$

Знайдено кути переміщення ланок механізму:

$$\varphi_2 = \arctg \frac{a_1 \sin \varphi_{a1} - l_1 \sin \varphi_1}{a_1 \cos \varphi_{a1} - l_1 \cos \varphi_1} + \arccos \frac{l_4^2 - l_5^2 - (a_1^2 + l_1^2 - 2a_1 l_1 \cos(360 - \varphi_{a1} + \varphi_1))}{-2l_5 \sqrt{a_1^2 + l_1^2} - 2a_1 l_1 \cos(360 - \varphi_{a1} + \varphi_1)} - 360^\circ, \quad (4)$$

$$\varphi_3 = \arccos \frac{l_5^2 - l_7^2 - (a_2^2 + l_2^2 - 2a_2 l_2 \cos(360 - \varphi_{a2} + \varphi_2))}{2l_7 \sqrt{a_2^2 + l_2^2} - 2a_2 l_2 \cos(360 - \varphi_{a2} + \varphi_2)} + \arctg \frac{a_2 \sin \varphi_{a2} - l_2 \sin \varphi_2}{a_2 \cos \varphi_{a2} - l_2 \cos \varphi_2} - 360^\circ, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \varphi_4 &= \varphi_{4s2} + \varphi_{s2} - 360^\circ = \\ &= \arccos \frac{l_5^2 - l_4^2 - s_2^2}{-2l_4 s_2} + \\ &+ \arctg \frac{a_2 \sin \varphi_{21} - l_3 \sin \varphi_3}{a_2 \cos \varphi_{a2} - l_3 \cos \varphi_3} - 360^\circ, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\varphi_5 = \arccos \frac{l_4^2 - l_5^2 - (a_1^2 + l_1^2 - 2a_1 l_1 \cos(\varphi_3 - \varphi_{a1}))}{-2l_5 \sqrt{a_1^2 + l_1^2} - 2a_1 l_1 \cos(\varphi_3 - \varphi_{a1})} + \arctg \frac{a_1 \sin \varphi_{a1} - l_1 \sin \varphi_1}{a_1 \cos \varphi_{a1} - l_1 \cos \varphi_1}, \quad (7)$$

$$\varphi_6 = \arccos \frac{l_7^2 - l_6^2 - (a_3^2 + l_3^2 - 2a_3 l_3 \cos(360 - \varphi_5 + \varphi_{a3}))}{2l_6 \sqrt{a_3^2 + l_3^2} - 2a_3 l_3 \cos(360 - \varphi_5 + \varphi_{a3})} + \arctg \frac{a_3 \sin \varphi_{a3} - l_3 \sin \varphi_3}{a_3 \cos \varphi_{a3} - l_3 \cos \varphi_3}, \quad (8)$$

$$\varphi_7 = \arccos \frac{l_6^2 - l_7^2 - (a_1^2 + l_1^2 - 2a_1 l_1 \cos(360 - \varphi_6 + \varphi_{a1}))}{-2l_7 \sqrt{a_1^2 + l_1^2} - 2a_1 l_1 \cos(360 - \varphi_6 + \varphi_{a1})} + \arctg \frac{a_1 \sin \varphi_{a1} - l_1 \sin \varphi_1}{a_1 \cos \varphi_{a1} - l_1 \cos \varphi_1} - 360^\circ. \quad (9)$$

Після диференціювання по узагальненій координаті  $\varphi_1$  спроектованих на осі координат рівнянь (1), (2), (3) отримані рівняння швидкостей та прискорень. Наприклад для ланки  $l_7$ :

— рівняння швидкості:

$$u_{71} = -u_5 l_5 \sin(\varphi_5 - \varphi_6) / l_7 \sin(\varphi_7 - \varphi_6), \quad (10)$$

— рівняння прискорення:

$$\begin{aligned} u_{71}' &= u_5 l_5 \cos(\varphi_5 - \varphi_6) + u_5 l_5' \sin(\varphi_5 - \varphi_6) + \\ &+ u_{71}' l_7 \cos(\varphi_7 - \varphi_6) - u_6 l_6' / l_7 \sin(\varphi_7 - \varphi_6) \end{aligned} \quad (11)$$

Використовуючи пакет програми Mathcad отримані графіки залежностей переміщень, швидкостей та прискорень від  $\varphi_1$  для кожної з ланок. Для прикладу ланки  $l_7$ :

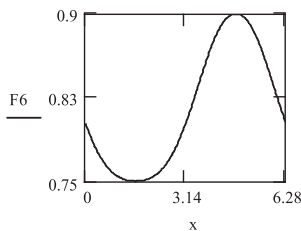
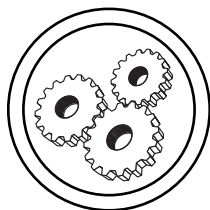


Рис. 2. Графік кутового переміщення ланки EF



## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

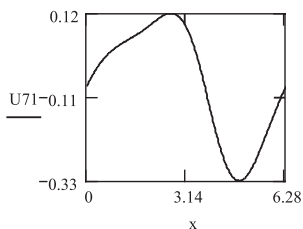


Рис. 3. Графік кутової швидкості ланки EF

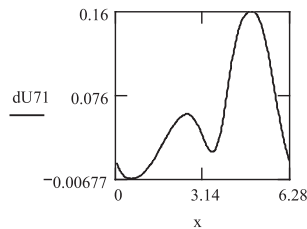


Рис. 4. Графік кутового прискорення ланки EF

### Висновки

Проведено кінематичне дослідження механізму приводу ножа одноножевої різальної машини. Механізм ножа належить до групи механізмів III класу. Дослідження велося методом замкненого векторного контура на базі комп'ютерної програми Mathcad.

Отримані системи рівнянь, що описують кінематику механізму можна вважати його математичною моделлю, оскільки вони мають важливі геометричні параметри цього механізму. Побудовані графіки дають змогу наочно уявити закон руху кожної з ланок механізму. Програма може бути використана для оптимізації даного механізму при його проектуванні.

1. Бобров В. И. Послепечатное оборудование : учебное пособие / В. И. Бобров, Г. Б. Куликов, Е. В. Одинокова и др. — Москва : МГУП, 2000.
2. Хведчин Ю. Резальные машины и комплексы POLAR : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Ю. Хведчин, М. Овчар, Ю. Шостачук. — К. : ПКП «СТ-Друк», 2004. — 204 с.
3. Хведчин Ю. И. Брошуровально-палітурне устаткування. Ч. 1. Брошуровальне устаткування. Підручник / Ю. И. Хведчин. — Львів : ТеРус, 1999. — 336 с.
4. Ананьина Е. В. Машини брошюровочно-переплетного производства. Ч.1 / Е. В. Ананьина, Ю. Н. Кочарь, Б. М. Мордовин. — М. : Книга, 1974. — 218 с.
5. Брицкий В. Д. Исследование рычажного механизма : учебное пособие / В. Д. Брицкий, Г. Б. Запоруев, М. А. Низдрин. — СПб. : СПбГУ ИТМО, 2007.
6. Кожевников С. Н. Теория механизмов и машин : учебное пособие для студентов вузов : изд. 4-е исправленное / С. Н. Кожевников. — М. : Машиностроение, 592 с.
7. Кінематичне дослідження шарнірно-важільних механізмів аналітичними методами з використанням ЕОМ: Методичні вказівки до вивчення курсу «Теорія механізмів і машин» для студентів машинобудівних спеціальностей та слухачів ФПК / Укл. В. П. Лукавенко. — К. : КПІ, 1993. — 40 с.

Рецензент — В. І. Косенко, к.т.н,  
доцент, ДЕТУТ

Надійшла до редакції 24.06.09