

УДК 621.01

В. Пасіка

Доцент, канд. техн. наук

С. Комаров

Доцент, канд. техн. наук

П. Бегень

Студент

Українська академія друкарства,
м. Львів

МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ШАРНІРНОГО ЧОТИРИЛАННИКА З ДІЛЯНКОЮ СТАЛОЇ ШВИДКОСТІ У СЕРЕДИНІ КІНЕМАТИЧНОГО ЦИКЛУ

Наведені результати комп'ютерного моделювання руху комбінованого кривошипно-коромислового механізму, де розбіг і вибіг коромисла синтезовано за вихідним циклоїдним законом, а у середині кінематичного циклу маємо ділянку сталої швидкості. Порівнюються величини кінематичних характеристик коромисла з відповідними характеристиками, отриманими аналітично.

механізм, закон руху, синтез, шарнірний чотириланник

Базові механізми шарнірного чотириланника надзвичайно поширені в усіх галузях промисловості. Широкого застосування вони набули у поліграфічних, текстильних, сільськогосподарських машинах.

Таке широке розповсюдження цих механізмів зумовлене тим, що їм притаманна низка позитивних властивостей. Вони дешеві, надійні, здатні передавати значні зусилля, їм властивий високий коефіцієнт корисної дії. Однак, попри усі позитивні якості, вихідні механізми шарнірного чотириланника не можуть задовольнити деякі особливі вимоги, що нерідко з'являються у практичній діяльності інженера. Так, закон руху вихідної ланки повністю залежить від геометрії механізму і незмінний для механізму зі сталими геометричними параметрами. Як наслідок, неможливо провести синтез механізму, що забезпечував би рух вихідної ланки за наперед заданим законом.

Для забезпечення виконання додаткових умов запропоновано комбінований механізм шарнірного чотириланника зі змінною довжиною кривошипа. Зміна довжини кривошипа досягається нерухомим кулачком. Такий механізм дає можливість синтезувати рух вихідної ланки з ділянкою сталої швидкості у середині кінематичного

циклу, рух з нульовим кутовим пришвидшенням у крайніх положеннях механізму тощо.

Методику й алгоритм синтезу комбінованих механізмів подано у праці [1]. Для синтезу закону зміни довжини кривошипа було створено обчислювальну програму в середовищі MATLAB, за допомогою якої синтезовано теоретичний профіль кулачка.

Нижче наведено аналітичну залежність для обчислення радіус-вектора нерухомого кулачка, який забезпечує заданий закон руху коромисла:

$$\lambda_r = \lambda_3 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_3) + \lambda_0 \cdot \cos(\varphi_1 - \beta_0) - \text{sign}(\varphi_{1\Pi} - \varphi_1) \times \\ \times \sqrt{\lambda_2^2 - [\lambda_0 \cdot \sin(\varphi_1 - \beta_0) + \lambda_3 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_3)]^2},$$

де $\beta_0 = \arctg(\lambda_b / \lambda_a)$;
 $\lambda_{2c} = \lambda_0 \cdot \sin(\varphi_{1\Pi} - \beta_0) + \lambda_3 \cdot \sin(\varphi_{1\Pi} - \varphi_{3\Pi})^2$; $\varphi_{1\Pi}$ – кут нахилу кривошипа, при якому кривошип і шатун взаємно перпендикулярні; $\varphi_3 = f(\varphi_1)$ – заданий закон руху коромисла.

У цій статті було синтезовано механізм з ділянкою сталої швидкості вихідної ланки у середині кінематичного циклу. Закон руху було обрано циклоїдний, для якого

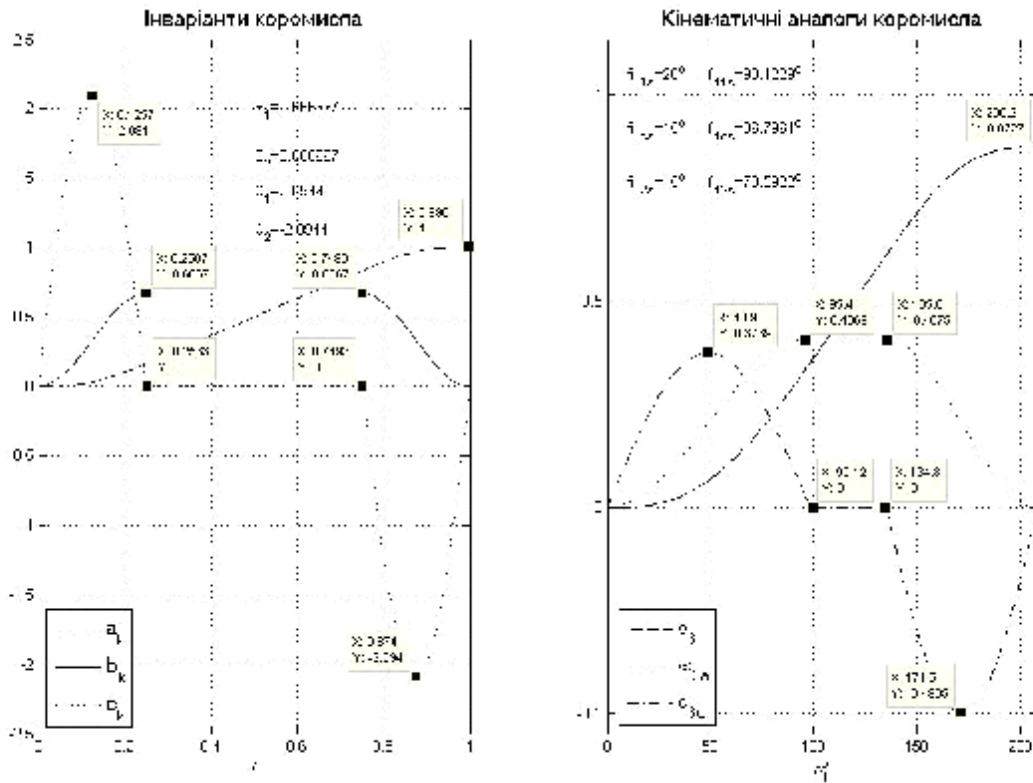


Рис. 1. Кінематичні характеристики механізму

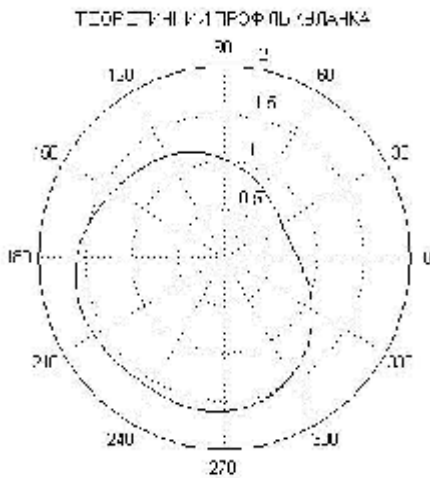


Рис. 2. Теоретичний профіль кулачка

пришвидшення на початку і в кінці робочого ходу дорівнює нулю. За результатами роботи програми одержано графіки кінематичних характеристик механізму, які зображені на рис. 1, а також побудовано теоретичний профіль кулачка, який подано на рис. 2. Для перевірки правильності розв'язання задачі синтезу було проведено аналіз синтезованого механізму, створено твердотілу модель механізму з подальшим її “оживленням”.

Для створення твердотілого макету механізму було вибрано пакет програм Solid Works. Першим кроком моделювання механізму була побудова профілю кулачка, яка виконувалася у середовищі AutoCAD, за допомогою

створеної LISP-програми. Вхідними даними для обчислень стали результати роботи програми синтезу комбінованих механізмів шарнірного чотириланника – масив радіус-векторів, що формують профіль кулачка і відповідних кутів їх нахилу, за якими побудовано сплайн, що відповідає теоретичному профілю кулачка. Крок побудови сплайну – 1 градус. Одержавши профіль кулачка, у середовищі AutoCAD, побудовано інші ланки механізму і змодельовано твердотілу модель за розмірами, одержаними після обчислень, проведених за допомогою програми MATLAB: довжина коромисла $\lambda_3 = 3.6172$, довжина шагуна $\lambda_2 = 4.7167$, абсциса бази механізму $\lambda_a = 3.1331$, ордината бази механізму $\lambda_b = 0.8926$, мінімальна довжина кривошипа $\lambda_{rmin} = 0.7089$, максимальна довжина кривошипа $\lambda_{rmax} = 1.6335$.

Наступний крок дослідження – “оживлення” механізму за допомогою модуля програми Solid Works COSMOS Motion. На рис. 3 зображено вікно програми Solid Works та імпортований з програми AutoCAD макет механізму.

У вікні модуля COSMOS Motion у закладці Parts було розподілено ланки на рухомі і нерухомі. У закладці Joints було задано кінематичні зв'язки між рухомими ланками. Кривошипу задано обертання зі сталою кутовою швидкістю у закладці Friction меню Properties відповідної кінематичної пари. Щоб створити кінематичний зв'язок між повзуном і нерухомим кулачком, була застосована опція Contact3D меню Contact.

При побудові графіків кінематичних характеристик механізму для підвищення точності в закладці Solver меню COSMOS Motion Options крок інтегрування було зменшено до 10^{-7} . Точність послідовних наближень

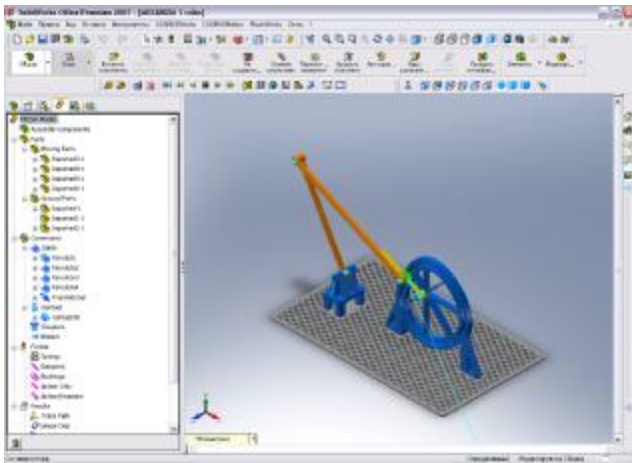


Рис. 3. Вікно програми Solid Works

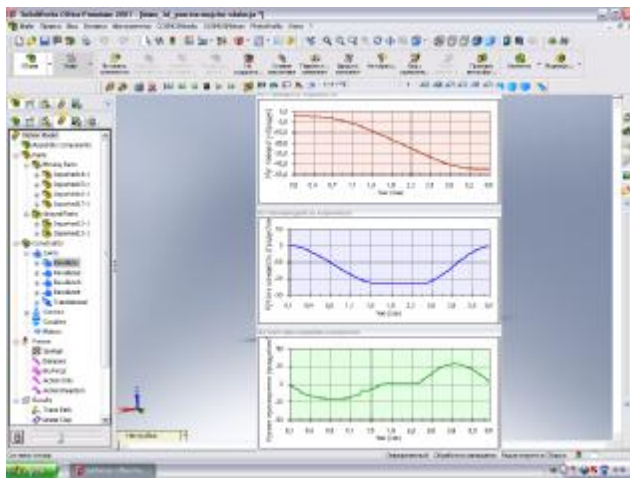


Рис. 4. Графіки кінематичних характеристик вихідної ланки

обрано 10^{-4} . Також було застосовано опцію прецизійної геометрії для 3-D контакту в закладці Simulation меню COSMOS Motion Options. Отримані графіки переміщення, швидкості і пришвидшення вихідної ланки синтезованого механізму зображено на рис. 4.

Візуальна оцінка отриманих кінематичних залежностей дає змогу провести якісне порівняння результатів, здобутих двома методами. Щоб провести кількісну оцінку одержаних результатів, скористаємося графіком кінематичних аналогів коромисла, розрахованих у середовищі MATLAB (рис. 1), а також зведемо результати моделювання механізму у середовищі COSMOS Motion у таблиці, скориставшись опцією Export CSV на графіках кінематичних залежностей (рис. 5).

Для порівняння обрано кутову швидкість і кутове пришвидшення коромисла на ділянці сталої швидкості. За результатами обчислень у середовищі MATLAB кутова швидкість на ділянці усталеного руху дорівнює $0,4077 \text{ c}^{-1}$ на куті повороту кривошипа від $98,1229^\circ$ до $134,919^\circ$. На цьому ж відрізку кутове пришвидшення дорівнює нулю. Якщо поділити кут повороту на кутову швидкість кривошипа, то отримаємо час початку і кінця усталеного руху коромисла: $T_{1S} = 98,1229 / 57,3248 = 1,7117 \text{ c}$; $T_{2S} = 134,919 / 57,3248 = 2,3536 \text{ c}$.

27	1,513	-23,2010	37	1,012	-7,0140
28	1,904	-27,7074	38	1,004	-7,0212
29	1,688	-23,2838	39	1,006	-7,1788
28	1,728	-23,3622	38	1,028	-7,24614
25	1,7	-22,3722	38	1,0	-7,1472
37	1,672	-23,3872	37	1,072	-7,3792
31	1,944	-23,4027	31	1,044	-7,16704
32	2,018	-23,4154	32	2,018	-7,1788
17	2,007	-27,4277	17	2,007	-7,16704
34	2,18	-23,4334	34	2,18	-7,16728
35	2,234	-23,45	35	2,234	-7,16932
32	2,304	-23,4616	32	2,304	-7,16728
17	2,377	-27,4479	17	2,377	-7,27432

а)

б)

Рис. 5. Дані, отримані у середовищі Solid Works: а — швидкість на ділянці усталеного руху; б — пришвидшення на ділянці усталеного руху

Аналізуючи табличні дані змодельованого механізму, отримуємо середню кутову швидкість коромисла $\omega_{3S} = 23,7 \text{ град/с} = 0,413 \text{ c}^{-1}$ на відрізку часу від 1,73 до 2,3 с, а також нульове кутове пришвидшення коромисла. Абсолютна похибка при обчисленні кутової швидкості

$$\varepsilon_{\omega} = \frac{\omega_{3M} - \omega_{3S}}{\omega_{3M}} \times 100 = \frac{|0,4077 - 0,413|}{0,4077} \times 100 = 1,3\%$$

Похибка часу початку і закінчення періоду усталеного руху

$$\varepsilon_{T1} = \frac{|T_{1M} - T_{1S}|}{T_{1M}} \times 100 = \frac{|1,7117 - 1,73|}{1,7117} \times 100 = 1,069\%$$

$$\varepsilon_{T2} = \frac{|T_{2M} - T_{2S}|}{T_{2M}} \times 100 = \frac{|2,3536 - 2,3|}{2,3536} \times 100 = 2,28\%$$

Для оцінювання кутового пришвидшення проаналізуємо співмірність середнього кутового пришвидшення на ділянці сталої швидкості з його максимальним значенням:

$$\Delta = \frac{a_{сep}}{a_{max}} \times 100 = \frac{0,175}{28,583} \times 100 = 0,61\%$$

Таким чином, середнє відхилення пришвидшення на ділянці усталеного руху становить тільки 0,61% від максимального значення пришвидшення. Похибки при обчисленнях, які пов'язані з точністю обчислень у середовищі Solid Works, не перевищують 3%, що вказує на коректність проведених обчислень і віртуальних моделювань.

Висновки. 1. Досліджений комбінований механізм шарнірного чотириланника забезпечує рух коромисла за наперед заданим законом;

2. У середовищі Solid Works і COSMOS Motion можна аналізувати рух складних кулачково-важільних механізмів;

3. Порівняння результатів синтезу і аналізу вказує на коректність отриманих аналітичних залежностей та проведених досліджень у CAD-програмах.

1. Пасіка В.Р. Синтез комбінованих механізмів шарнірного чотириланника за розмахом і законом руху вихідної ланки // *Машинознавство*. — 2007. — № 9 (12). — С. 28—34.

2. Пасіка В.Р., Бегень П.І. Автоматизований синтез комбінованих законів руху важільних механізмів з ділянкою сталої швидкості вихідної ланки // *Науковий вісник НЛТУ: Зб. наук.-техн. праць*. — Львів: НЛТУ. — 2008, вип. 18.2. — С. 246—253.

V. Pasika, S. Komarov, P. Begen

Simulation of the combined crank-rocker mechanism motion, having a zone of the rocker constant velocity

Ukrainian Academy of Printing, Lviv

The result of the computer simulation of the motion of the combined crank-rocker mechanism is discussed, where running-up and running-down of the rocker comply with the source cycloidal law, and there is a zone of the constant velocity in the middle of the kinematic cycle. Values of the rocker kinematic parameters are compared with the corresponding parameters got from the analytical solution.

21 01 01 00 3 0

22nd EUROPEAN CONFERENCE ON DIAMOND, DIAMOND LIKE MATERIALS, CARBON NANOTUBES AND NITRIDES

Garmisch-Partenkirchen, Germany

September 4 — 8, 2011

<http://www.diamond-conference.elsevier.com>

DIAMOND is a leading international conference in the fields of diamond, DLC (diamond-like carbon), carbon nano-tubes, graphene, and nitrides. It brings together scientists and engineers with both fundamental and applied interests in these fields. At the conference, you will learn of current state-of-art as well as future trends of carbon and nitrides related applications.

The conference will discuss the significant improvements in material growth processes, material purity and doping of these materials over the past few years. The improvements have lead to the discovery of new phenomena in these materials as well as to novel device applications with increasingly impressive performance levels.

Abstracts are now being accepted in the following categories:

- * Diamond
- * DLC (diamond-like carbon)
- * Graphene
- * Carbon nanotubes
- * III-nitrides: growth properties and applications

XVI INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHANICS OF COMPOSITE MATERIALS

May 24 — 28, 2010

Riga, Latvia

The present Conference follows the previous meetings in this series held in Riga from 1965 to 2008. The XVI International Conference intends to keep the customary themes of discussion. Traditionally on the Riga conferences, the number of participants is approximately 250 from many countries. So, the conference offers a good opportunity to meet colleagues from all over the world. The meeting history is available on the Conference website.

CONFERENCE SCIENTIFIC SECRETARY:

Dr. K. Cirule, Institute of Polymer Mechanics, University of Latvia

23 Aizkraukles St., Riga, LV 1006, Latvia

phone: +371-67543121, mob. phone: +371-29662710, fax: +371-67820467;

e-mail: cirule@pmi.lv <http://www.pmi.lv/html/ConfInf.htm>.