



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **108872** (13) **U**
(51) МПК (2016.01)
F16H 21/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

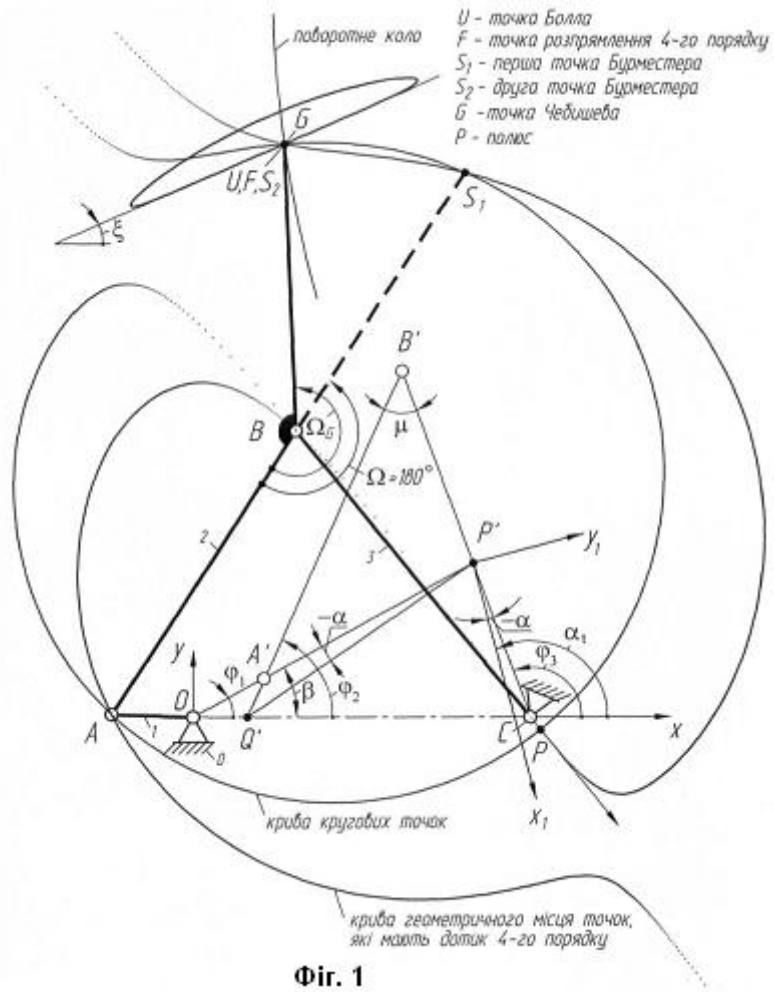
(21) Номер заявки: u 2015 06995	(72) Винахідник(и): Харжевський В'ячеслав Олександрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 14.07.2015	(73) Власник(и): ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.08.2016	вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.08.2016, Бюл.№ 15	

(54) ШАРНІРНИЙ ЧОТИРИЛАНКОВИЙ ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРЯМНИЙ МЕХАНІЗМ, ПОБУДОВАНИЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ТОЧКИ ЧЕБИШЕВА

(57) Реферат:

Шарнірний чотириланковий механізм має основу, на якій встановлено кривошип, коромисло і шатун у вигляді двоплечого важеля, одне плече якого шарнірно зв'язано з кривошипом та коромислом, а інше плече виконано з можливістю опису його шатунною точкою кривої, яка на частковій ділянці траєкторії наближається до прямої лінії. За шатунну точку механізму прийнято точку Чебишева, яка визначається для заданих довжин кривошипа, шатуна та коромисла механізму як точка Болла в тому положенні шатунної площини, коли одна з двох точок Бурместера знаходиться на одній прямій з обома рухомими шарнірами механізму.

UA 108872 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до машинобудування, а саме до проектування прямолінійно-напрямого механізму на основі шарнірного чотириланкового механізму, шатунна точка якого наближено описує на деякій ділянці пряму лінію при неперервному обертотому русі вхідної ланки (кривошипа).

5 Одним з напрямків у синтезі таких механізмів є використання методів найкращого наближення за Чебишевим, що передбачають наявність максимально можливої кількості вузлів інтерполяції на ділянці наближення з рівномірним характером зміни відхилень [1,3]. Іншим напрямком є використання методів кінематичної геометрії, що полягають у пошуку таких вузлів
10 інтерполяції, в яких збігаються декілька нескінченно близьких положень шатунної площини. Такі вузли інтерполяції називають кратними, вони характеризуються тим, що в даних точках збігаються не тільки самі функції (шатунної кривої та прямої лінії або кола), але й n їх похідних. В такому випадку функція буде мати дотик n -го порядку зі своїм дотичним колом або дотичною прямою. Вищі порядки дотику забезпечують краще наближення ділянки шатунної кривої відповідно до кола або прямої лінії. Синтез таких механізмів розглядається у роботах [2,4-8].

15 У кінематичній геометрії такими кратними вузлами інтерполяції є, зокрема, точки Болла, що визначаються для 4-х нескінченно близьких положень шатунної площини та забезпечують проектування прямолінійно-напрямених механізмів з дотиком 3-го порядку, а також точки Бурместера, за допомогою яких можна спроектувати кругові напрямні механізми з дотиком 4-го порядку (5 нескінченно близьких положень).

20 При цьому в кінематичній геометрії описано частковий випадок [2,6,7], коли точка Болла в деякому положенні шатунної площини збігається з точкою Бурместера та забезпечує таким чином проектування прямолінійно-напрямених механізмів з дотиком 4-го порядку, що забезпечує краще наближення шатунної кривої до прямої лінії порівняно з точками Болла. Такий випадок називають випадком Чебишева, а відповідні точки Болла, що збігаються в даному положенні з
25 точками Бурместера - точками Чебишева [2, с 345]. При цьому, в англійській науковій літературі такі точки називають ще точками Болла-Бурместера [6-8].

В роботах Дж. Відосіча, Д. Тесара [6], Д. Тесара [7, с 15] синтез механізмів на базі точок Чебишева проводиться, виходячи із заданих полярних кутів, що визначають положення шарнірів механізму. Описані аналітичні методи та наведені діаграми дозволяють проводити
30 синтез таких механізмів з врахуванням додаткових умов, проте цей метод не дозволяє проводити визначення точок Чебишева відповідно до заданих розмірів шарнірного чотириланкового механізму, оскільки розміри ланок визначаються в процесі проектування відповідно до інших умов.

В роботі Я. Геронімуса [2, с. 351] наведено прямолінійно-напряменим шарнірний чотириланковий механізм, синтезований з використанням точки Чебишева (найближчий аналог). Положення шарнірів механізму визначені відповідно до заданого кута нахилу
35 прямолінійної ділянки та положення шатунної точки, за яку приймається точка Чебишева. У найближчому аналогу передбачається, що розміри ланок механізму визначаються в процесі проектування та не можуть бути задані як вихідні дані для проектування.

40 В основу заявленої корисної моделі поставлена задача - проектування прямолінійно-напрямого механізму на базі шарнірного чотириланкового механізму з використанням точок Чебишева за заданими розмірами ланок механізму (кривошипа, шатуна та коромисла) з наступним визначенням кута нахилу прямолінійної ділянки, що дозволяє розв'язати зворотну задачу порівняно з найближчим аналогом.

45 Фіг. 1, 2 пояснюють запропоновану корисну модель.

Фіг. 1. - Розрахункова схема прямолінійно-напрямого шарнірного чотириланкового механізму з точкою Чебишева як шатунної.

Фіг. 2. - Приклад діаграми зміни кута Ω злому шатуна у механізмах, синтезованих за точками Бурместера (використовується для числового визначення точок Чебишева).

50 Поставлена задача вирішується тим, що шарнірний чотириланковий механізм (фіг. 1) має основу 0, на якій встановлено кривошип 1, коромисло 3 і шатун 2 у вигляді двоплечого важеля, одне плече якого шарнірно зв'язано з кривошипом 1 та коромислом 3, а інше плече виконано з можливістю опису його шатунною точкою G кривої, яка на частковій ділянці траєкторії наближається до прямої лінії, причому за шатунну точку механізму приймається точка
55 Чебишева, яка визначається для заданих довжин кривошипа 1, шатуна 2 та коромисла 3 механізму як точка Болла в тому положенні шатунної площини, коли одна з двох точок Бурместера знаходиться на одній прямій з обома рухомими шарнірами механізму.

Оскільки точки Чебишева визначаються для часткового випадку положення шатунної площини механізму, коли точка Болла збігається з однією з точок Бурместера, то в кінематичній
60 геометрії це відповідає випадку перетину в одній точці трьох кривих: поворотного кола, кривої

кругових точок та кривої геометричного місця точок, які забезпечують дотик не нижче 4-го порядку зі своїми дотичними колами.

Рівняння поворотного кола (в неявному вигляді):

$$x^2 + y^2 - y''_0 y = 0, \quad (1)$$

5

де y''_0 - прискорення полюса Р миттєвого обертання шатунної площини механізму. Рівняння кривої кругових точок (в неявному вигляді):

$$(x^2 + y^2)(l_1 x + l_2 y) - l_4 xy = 0, \quad (2)$$

10

де l_1, l_2, l_4 - коефіцієнти кривої. Рівняння кривої (в неявному вигляді), що являє собою геометричне місце точок, які забезпечують дотик не нижче 4-го порядку зі своїми дотичними колами:

$$(x^2 + y^2)(m_3 + m_4 x + m_5 y) - y''_0 y(m_1 x + m_2 y + m_3) = 0, \quad (3)$$

15

де $m_1 \dots m_5$ - коефіцієнти кривої. Таким чином, якщо точка Чебишева, що визначається як точка перетину кривих (1), (2) та (3), буде прийнята за шатунну точку механізму, в результаті вона буде описувати шатунну криву, що на деякій своїй ділянці в околі цієї точки буде наближатись до прямої лінії з дотиком 4-го порядку. Розрахункова схема механізму показана на фіг. 1.

20

Алгоритм проектування механізму наступний.
1. Задаємо довжиною кривошипа $r = l_{OA}$, шатуна $b = l_{AB}$ та коромисла $c = l_{BC}$. За модуль довжини прийнято відстань між осями нерухомих шарнірів $d = l_{OC} = 1$. Кут φ_1 , що визначає положення кривошипа та відповідно шатунної площини механізму, будемо змінювати в циклі в діапазоні $\varphi_1 = 0 \dots 360^\circ$ з певним кроком (наприклад, $\Delta\varphi_1 = 1^\circ$). Визначаємо координати точки А механізму (кінця кривошипа) для різних положень механізму:

25

$$X_A = r \cos \varphi_1; \quad Y_A = r \sin \varphi_1, \quad (4)$$

2. Обчислюємо кути φ_2 та φ_3 , що визначають положення відповідно шатуна б коромисла с механізму:

30

$$\varphi_2 = \psi + \kappa; \quad \varphi_3 = \psi - \chi + \pi, \quad (5)$$

де $\psi = \arctg[Y_A / (X_A - 1)]$; $\chi = \pi - \kappa - \mu$. Для розрахунку шуканих кутів додатково визначаємо наступні величини:

$$\kappa = \arccos\left(\frac{b^2 + \Delta^2 - c^2}{2b\Delta}\right), \quad \mu = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - \Delta^2}{2bc}\right); \quad \Delta = \sqrt{(1 - X_A)^2 + Y_A^2}, \quad (6)$$

35

3. Обчислюємо координати точки В механізму:

$$X_B = 1 + c \cos \varphi_3; \quad Y_B = c \sin \varphi_3, \quad (7)$$

40

4. Обчислюємо координати полюса Р миттєвого обертання шатунної площини та миттєвого полюса Q відносного руху шатуна 2 та коромисла 3 механізму:

$$X_P = \frac{\operatorname{tg} \varphi_3}{\operatorname{tg} \varphi_3 - \operatorname{tg} \varphi_1}; \quad Y_P = X_P \operatorname{tg} \varphi_1; \quad X_Q = \frac{X_A Y_B - X_B Y_A}{Y_B - Y_A}; \quad Y_Q = 0, \quad (8)$$

5. Визначаємо прискорення полюса Р миттєвого обертання шатунної площини механізму:

$$y_0'' = -|I_{OP}(I_{OP} - I_{OA})/I_{OA} \sin(\varphi_3 - \beta)|, \quad (9)$$

де кут нахилу осі колінеації $\beta = \arctg[Y_P / (Y_P - X_Q)]$, $I_{OP} = X_P / \cos \varphi_1$. (9)

5

6. Визначаємо коефіцієнти кривої кругових точок (2):

$$l_1 = \frac{k_1 k_{22} - k_2 k_{12}}{k_{11} k_{22} - k_{12} k_{21}}; \quad l_2 = \frac{k_2 k_{11} - k_1 k_{21}}{k_{11} k_{22} - k_{12} k_{21}}; \quad l_4 = 3(y_0'')^2, \quad (10)$$

Коефіцієнти, що входять у (10) визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} k_{11} &= x_A(x_A^2 + y_A^2); \quad k_{12} = y_A(x_A^2 + y_A^2); \quad k_1 = 3y_0 x_A y_A; \\ k_{21} &= x_B(x_B^2 + y_B^2); \quad k_{22} = y_B(x_B^2 + y_B^2); \quad k_2 = 3y_0 x_B y_B; \end{aligned} \quad (11)$$

10

де координати шарнірів А та В в повернутій системі координат $x_1P' y_1$:

$$\begin{aligned} x_A &= (X_P - X_A) \cos \alpha_t + (Y_P - Y_A) \sin \alpha_t, \\ y_A &= (Y_P - Y_A) \cos \alpha_t + (X_A - X_P) \sin \alpha_t, \\ x_B &= (X_P - X_B) \cos \alpha_t + (Y_P - Y_B) \sin \alpha_t, \\ y_B &= (Y_P - Y_B) \cos \alpha_t + (X_B - X_P) \sin \alpha_t, \end{aligned} \quad (12)$$

кут нахилу полюсної дотичної: $\alpha_t = \varphi_1 + \varphi_3 - \beta$.

15

7. Визначаємо коефіцієнти кривої (3) геометричного місця точок, які забезпечують дотик не нижче 4-го порядку зі своїми дотичними колами:

$$m_1 = 4l_2; \quad m_2 = 6y_0'' - 4l_1; \quad m_3 = l_4; \quad m_4 = \frac{K_1 + l_1 m_1}{3y_0''}; \quad m_5 = \frac{K_3 + l_1 m_2 + l_2 m_1}{3y_0''}. \quad (13)$$

Величини, що входять у (13) визначаються наступним чином:

$$K_1 = \frac{K_4 x_A + K_5 y_A - K_2 y_A^2 - K_3 x_A y_A}{x_A^2}; \quad K_2 = -l_2 m_2; \quad K_4 = l_4 (l_1 - 3y_0''). \quad (14)$$

20

$$K_3 = \frac{(x_B^2 y_A^2 - x_A^2 y_B^2) K_2 + (x_A^2 x_B - x_A x_B^2) K_4 + (x_A^2 y_B - x_B^2 y_A) K_5}{x_A x_B (y_B x_A - y_A x_B)}; \quad K_5 = l_2 l_4, \quad (15)$$

25

8. Для знаходження точок Чебишева необхідно попередньо знайти в шатунній площині положення точок Бурместера, що визначаються як точки перетину кривих (2) та (3). Розв'язуючи сумісно рівняння цих кривих, записаних в неявному вигляді, отримаємо поліном четвертого степеня, корені якого і визначають точки Бурместера:

$$n_4 x^4 + n_3 x^3 + n_2 x^2 + n_1 x + n_0 = 0, \quad (16)$$

де коефіцієнти полінома:

30

$$n_4 = -K_5 l_2; \quad n_3 = K_2 l_4 - K_4 l_2 - K_5 l_1; \quad n_2 = K_3 l_4 - K_4 l_1 - n_4; \quad n_1 = K_1 l_4 - K_4 l_2 - K_5 l_1; \quad n_0 = -K_4 l_1.$$

Рівняння (16), очевидно, має 4 корені, що визначають точки Бурместера. Два з них збігаються з рухомими шарнірами А та В механізму, тому:

$$x_1 = \operatorname{tg}(\varphi_1 - \varphi_3 - \alpha); \quad x_2 = -\operatorname{tg} \alpha, \quad (17)$$

де α - кут, що визначає напрямок полюсної дотичної. Два інших корені полінома (16) можуть бути використані при проведенні синтезу:

$$x_{3,4} = \frac{-p \pm \sqrt{p^2 - 4q}}{2}, \quad (18)$$

5 де $p = n_3/n_4 + x_1 + x_2$; $q = n_2/n_4 - x_1x_2 + p(x_1 + x_2)$.

Таким чином, координати обох точок Бурместера, що не збігаються з рухомими шарнірами механізму:

$$x_{S_1} = \frac{K_4 + K_5x_3}{K_1 + K_3x_3 + K_2x_3^2}; y_{S_1} = x_{S_1}x_3; x_{S_2} = \frac{K_4 + K_5x_4}{K_1 + K_3x_4 + K_2x_4^2}; y_{S_2} = x_{S_2}x_4, \quad (19)$$

10 Для того, щоб отримати положення точок Бурместера у базовій системі координат xOy , проведемо зворотне перетворення системи координат за формулами:

$$\begin{aligned} X_{S_1} &= X_P - x_{S_1} \cos \alpha_t + y_{S_1} \sin \alpha_t, Y_{S_1} = Y_P - y_{S_1} \cos \alpha_t - x_{S_1} \sin \alpha_t, \\ X_{S_2} &= X_P - x_{S_2} \cos \alpha_t + y_{S_2} \sin \alpha_t, Y_{S_2} = Y_P - y_{S_2} \cos \alpha_t - x_{S_2} \sin \alpha_t \end{aligned} \quad (20)$$

15 Визначивши положення точок S_1 та S_2 , можна знайти кути злому шатуна, що відповідають кожній з цих точок:

$$\Omega = \frac{180}{\pi} \left[\pi - \varphi_2 + \arctg \left(\frac{Y_{S_{1,2}} - Y_B}{X_{S_{1,2}} - X_B} \right) \right], \quad 0 \leq \Omega \leq 360^\circ, \quad (21)$$

Слід зазначити, що для деяких положень шатунної площини точок Бурместера може не виявитись.

20 9. Розрахувавши точки Бурместера для всіх положень механізму $0 \leq \varphi_1 \leq 360^\circ$, будемо графік залежності кута Ω злому шатуна від кута φ_1 , що визначає положення кривошипа та відповідно шатунної площини, для якого визначалось положення точок Бурместера. Приклад такого графіку для певних значень довжини кривошипа, шатуна та коромисла показано на фіг. 2 (заштрихована область відповідає положенням шатунної площини, для яких точки Бурместера відсутні, значення у прямокутниках відповідають величинам, які необхідно зменшити на 180°).

25 10. Визначаємо чисельно значення кутів повороту кривошипа φ_1 що відповідають точкам Бурместера, для яких кут злому шатуна $\Omega = 180^\circ$, оскільки точки Болла, визначені для положень шатунної площини, що відповідають цим кутам повороту кривошипа будуть точками Чебишева. Як видно з фіг. 2, в даному прикладі для заданих розмірів механізму було знайдено
30 дві точки Чебишева: для положень $\varphi_1 = 177,93^\circ$ та $\varphi_1 = 190,19^\circ$.

11. Визначаємо положення точок Чебишева як точок Болла, що збігаються в даному положенні з точками Бурместера:

$$x_G = -Ry_0''', \quad y_G = -Rx_0''', \quad (22)$$

35 де $R = x_0'''y_0'' / \left[(x_0''')^2 + (y_0''')^2 \right]$; $x_0''' = I_1 - 3y_0''$; $y_0''' = I_2$. Як видно з фіг. 1 знайдена точка Чебишева, крім того, збігається з точкою розпрямлення 4-го порядку.

Величини, що входять у (22), необхідно розрахувати відповідно до значень φ_1 , які визначені у п. 10. Для цього необхідно зробити відповідні розрахунки за формулами (4)-(12).

40 12. Визначаємо положення точки Чебишева G у базовій системі координат xOy . Для цього проведемо перетворення системи координат за наступними формулами:

$$X_G = X_p - x_G \cos \alpha_t + y_G \sin \alpha_t; Y_G = Y_p - y_G \cos \alpha_t - x_G \sin \alpha_t, \quad (23)$$

13. Проектуємо важільний чотириланковий механізм, у якому довжина другого плеча шатуна $k = l_{BG}$ та кут Ω_G його злomu визначає положення шатунної точки, за яку буде прийнята знайдена точка Чебишева:

5

$$k = l_{BG} = \sqrt{(X_G - X_B)^2 + (Y_G - Y_B)^2}, \quad (24)$$

$$\Omega_G = \frac{180}{\pi} \left[\pi - \varphi_2 + \arctg \left(\frac{Y_G - Y_B}{X_G - X_B} \right) \right], \quad 0 \leq \Omega_G \leq 360^\circ, \quad (25)$$

14. Кут нахилу прямолінійної ділянки шатунної кривої:

$$\xi = \arctg \left(\frac{Y_p - Y_G - y_0'' \cos \alpha_t}{X_p - X_G + y_0'' \sin \alpha_t} \right), \quad (26)$$

10

Джерела інформації:

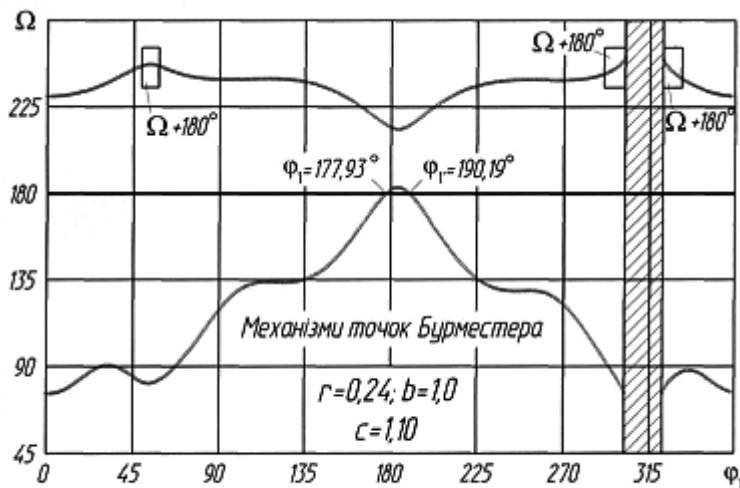
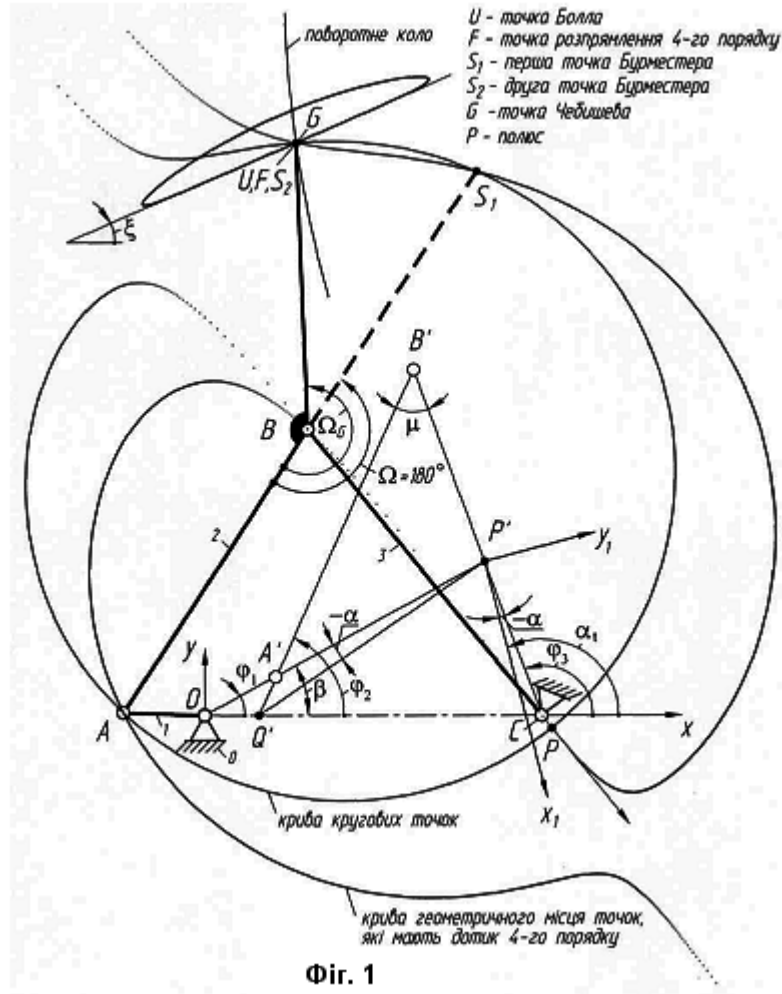
1. Артоболевский И. И. Синтез плоских механизмов./ И. И. Артоболевский, Н. И Левитский, С. А. Черкудинов - М.: Физматгиз, 1959. - 1084 с.
2. Геронимус Я. Л. Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов. - М.: Гос. издательство физ.-мат. литературы, 1962. - 400 с.
3. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. - К.: Вища школа, 1990. - 232 с.
4. Харжевський В.О. Синтез важільних прямолінійно-напрямних механізмів та механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі шарнірного чотириланкового механізму: дис...канд. техн. наук: 05.02.02 / В.О. Харжевський; Хмельницький держ. ун-т. - Хмельницький, 2004. - 262 с.
5. Харжевський В.О. Аналітично-числовий синтез кругових напрямних механізмів на базі шарнірного чотириланкового механізму з використанням точок Бурместера. / В.О. Харжевський, Я.Т. Киницкий //Машинознавство, Львів: Вид-во КІНПАТPI. - 2005. - С. 61-65.
6. Vidosic J., Tesar D. Selection of four-bar mechanisms having required approximate straight-line outputs. Part I. The general case of the Ball-Burmester point /Journal of mechanisms, 2(1), 1967, pp. 23-44.
7. Tesar D. The analytical theory of coplanar motion applied to approximate four-bar straight line mechanisms. PhD dissertation. Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA, 1964. - 178 p.
8. Wang D. Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages /Wang D.,Wang W. – John Wiley & Sons Singapore Pte., 2015 - 450 p.

30

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Шарнірний чотириланковий механізм, що має основу, на якій встановлено кривошип, коромисло і шатун у вигляді двоплечого важеля, одне плече якого шарнірно зв'язано з кривошипом та коромислом, а інше плече виконано з можливістю опису його шатунною точкою кривої, яка на частковій ділянці траєкторії наближається до прямої лінії, причому за шатунну точку механізму приймається точка Чебишева, яка визначається для заданих довжин кривошипа, шатуна та коромисла механізму як точка Болла в тому положенні шатунної площини, коли одна з двох точок Бурместера знаходиться на одній прямій з обома рухомими шарнірами механізму.

40



Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601