



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **111501** (13) **U**  
(51) МПК (2016.01)  
**F16H 21/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2016 05297</b>	(72) Винахідник(и): <b>Харжевський В'ячеслав Олександрович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>16.05.2016</b>	(73) Власник(и): <b>ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,</b> вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.11.2016</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.11.2016, Бюл.№ 21</b>	

## (54) ШАРНІРНИЙ ЧОТИРИЛАНКОВИЙ ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРЯМНИЙ МЕХАНІЗМ, ПОБУДОВАНИЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ТОЧКИ РОЗПРЯМЛЕННЯ 5-ГО ПОРЯДКУ

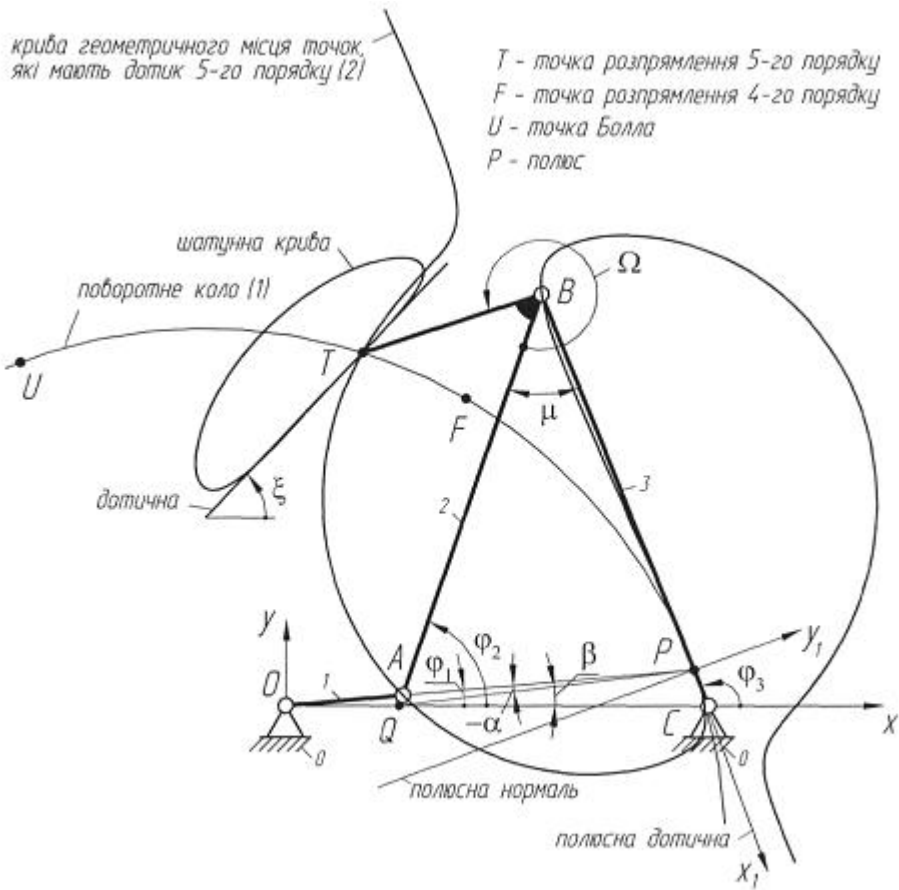
### (57) Реферат:

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, причому за шатунну точку механізму приймається точка розпрямлення 5-го порядку, яка визначається як точка перетину поворотного кола з кривою геометричного місця точок, що характеризуються дотиком не нижче 5-го порядку зі своїми дотичними колами, за формулами:

$$x_T = \frac{-y_0'' x_0^V y_0^V}{(x_0^V)^2 + (y_0^V)^2}; \quad y_T = \frac{y_0'' (x_0^V)^2}{(x_0^V)^2 + (y_0^V)^2},$$

де  $y_0'', x_0^V, y_0^V$  - похідні відповідно 2-го та 5-го порядків від переміщення полюса миттєвого обертання шатунної площини.

UA 111501 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до машинобудування, а саме до важільних плоских напрямних механізмів, шатунна точка яких наближено описує пряму лінію деякої довжини при неперервному обертотому русі вхідної ланки механізму (кривошипу).

5 Синтез таких механізмів представляє собою одну з найскладніших задач у теорії механізмів та машин. Як відомо, існує два основних напрямки у синтезі таких механізмів: одним з напрямків є використання алгебраїчних методів Чебишева з використанням умов найкращого наближення функцій [1. - С. 675], які полягають у наявності максимально можливої кількості вузлів інтерполяції між заданою та замінювальною функціями з рівномірним характером зміни відхилень, що розглядається, зокрема, у [3,5].

10 Іншим напрямком у синтезі прямолінійно-направних механізмів є використання методів кінематичної геометрії, що полягають у використанні певних особливих точок шатунної площини, які дозволяють отримувати шатунні криві з ділянками наближено постійної кривизни - таким чином можна отримувати шатунні криві з наближенням деякої ділянки до дуги кола або прямої лінії. Зокрема одним з можливих варіантів є шарнірний чотириланковий прямолінійно-направний механізм, побудований з використанням точки Болла [1. - С. 1068, рис. 864] (прототип), яка визначається в заданому положенні шатунної площини як точка перетину поворотного кола, що є геометричним місцем точок розпрямлення або перегинів шатунних кривих, з кривою кругових точок, що представляє собою геометричне місце точок, які забезпечують дотик не нижче 3-го порядку зі своїми дотичними колами. Таким чином, в деякому 20 околі від точки Болла на шатунній кривій можна отримати ділянку, що наближається до прямої лінії. Сучасними науковими роботами, в яких розглядається проектування важільних прямолінійно-направних механізмів на базі точок Болла є, наприклад, монографія вчених Уанга Д. та Уанга У. [7. - С. 160], а також Уіна, Хана та ін. [6]. Як особливі точки шатунної площини можуть бути використані зокрема також точки розпрямлення 4-го порядку, що розглядалися у 25 роботі [4. - С. 71].

В основу корисної моделі поставлена задача - проектування шарнірного чотириланкового прямолінійно-направного механізму, який можна спроектувати з використанням інших шатунних точок механізму порівняно з прототипом.

Поставлена задача вирішується таким чином, що як шатунні точки важільних механізмів 30 приймаються інші особливі точки, що визначаються за допомогою методів кінематичної геометрії, а саме - точки розпрямлення 5-го порядку, що в загальному випадку визначаються як точки перетину поворотного кола (1), які є геометричним місцем розпрямлення або перегинів шатунних кривих, що описують дані точки, з кривою (2), що є геометричним місцем точок, які забезпечують дотик 5-го порядку зі своїми дотичними колами.

35 Фіг. 1, 2 ілюструють запропоновану корисну модель.

Фіг. 1. - Прямолінійно-направний шарнірний чотириланковий механізм з точкою розпрямлення 5-го порядку як шатунної.

Фіг. 2. - Приклади шатунних кривих механізмів, синтезованих за точками розпрямлення 5-го 40 порядку.

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 / та коромислом 3, а інше плече виконано з можливістю опису його шатунною точкою Т кривої, яка на частковій ділянці траєкторії наближається до прямої лінії, причому за шатунну точку механізму приймається точка розпрямлення 5-го порядку.

45 Точки розпрямлення 5-го порядку визначаються в загальному випадку для будь-якого положення шатунної площини механізму. Якщо, відповідно до рекомендацій [1. - С. 1060], прийняти кутову швидкість обертання шатунної площини  $\omega = 1$ , розмістити початок системи координат у Р полюсі миттєвого обертання шатунної площини та направити вісь абсцис вздовж полюсної дотичної, тоді рівняння поворотного кола в неявному вигляді запишеться наступним 50 чином:

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

де  $y''_0$  - прискорення полюса Р миттєвого обертання шатунної площини механізму.

Рівняння кривої (в неявному вигляді), що представляє собою геометричне місце точок, які 55 забезпечують дотик 5-го порядку зі своїми дотичними колами має наступний вигляд:

$$(x^2 + y^2) (x_0^V x + y_0^V y) + 5 [ (y_0^{IV} - 2x_0''' - 2y_0'' ) x - (x_0^{IV} + 2y_0''') y + 2y_0'' y_0'''] (x^2 + y^2 - y_0'' y) = 0, \quad (2)$$

де  $y_0'', y_0''', x_0^{IV}, y_0^{IV}, x_0^V, y_0^V$  - прискорення та похідні вищих порядків від переміщення полюса Р миттєвого обертання шатунної площини.

Таким чином, якщо точка розпрямлення 5-го порядку, що визначається як точка перетину кривих (1) та (2), 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.

Алгоритм проектування механізму наступний.

1. Задаємось довжиною кривошипа  $r=l_{OA}$ , шатуна  $b=l_{AB}$ , коромисла  $c=l_{BC}$ , а також кутом повороту кривошипа  $\varphi_1$ , для якого в шатунній площині будемо визначати точку розпрямлення 5-го порядку. За модуль довжини прийнято відстань між осями нерухомих шарнірів  $d=l_{OC}=1$ . Визначаємо координати точки А механізму (кінця кривошипа) в системі координат  $xOy$ :

$$X_A=r\cos\varphi_1; Y_A=r\sin\varphi_1. \quad (3)$$

2. Обчислюємо кути  $\varphi_2$  та  $\varphi_3$ , що визначають положення відповідно шатуна  $b$  коромисла  $c$  механізму:

$$\varphi_2 = \psi + \kappa; \varphi_3 = \psi - \chi + \pi. \quad (4)$$

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

$$\kappa = \arccos\left(\frac{b^2 + \Delta^2 - c^2}{2b\Delta}\right); \mu = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - \Delta^2}{2bc}\right); \Delta = \sqrt{(1 - X_A)^2 + Y_A^2}. \quad (5)$$

3. Обчислюємо координати точки В механізму:

$$X_B=1+c \cos\varphi_3; Y_B=c \sin\varphi_3. \quad (6)$$

4. Обчислюємо координати полюса Р миттєвого обертання шатунної площини та миттєвого полюса Q відносного руху шатуна 2 та коромисла 3 механізму (в системі координат  $xOy$ ):

$$X_P = \frac{\operatorname{tg} \varphi_3}{\operatorname{tg} \varphi_3 - \operatorname{tg} \varphi_1}; Y_P = X_P \operatorname{tg} \varphi_1; X_Q = \frac{X_A Y_B - X_B Y_A}{Y_B - Y_A}; Y_Q = 0. \quad (7)$$

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

$$y_0'' = -\left| \frac{\ell_{OP}(\ell_{OP} - \ell_{OA})}{\ell_{OA} \sin(\varphi_3 - \beta)} \right|, \quad (8)$$

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

6. Визначаємо похідні 3-го порядку від переміщення полюса Р миттєвого обертання шатунної площини механізму (швидкість зміни прискорення полюса миттєвого обертання):

$$x_0'' = \frac{k_1 k_{22} - k_2 k_{12}}{k_{11} k_{22} - k_{12} k_{21}} - 3y_0''; y_0''' = \frac{k_2 k_{11} - k_1 k_{21}}{k_{11} k_{22} - k_{12} k_{21}}. \quad (9)$$

Коефіцієнти, що входять у (9) визначаються наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} k_{11} &= x_A (x_A^2 + y_A^2); k_{12} = y_A (x_A^2 + y_A^2); k_1 = 3y_0'' x_A y_A; \\ k_{21} &= x_B (x_B^2 + y_B^2); k_{22} = y_B (x_B^2 + y_B^2); k_2 = 3y_0'' x_B y_B; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

де координати шарнірів А та В в повернутій системі координат  $x_1 P y_1$ :

$$x_A = (X_P - X_A) \cos \alpha_t + (Y_P - Y_A) \sin \alpha_t, y_A = (Y_P - Y_A) \cos \alpha_t + (X_A - X_P) \sin \alpha_t,$$

$$x_B = (X_P - X_B) \cos \alpha_t + (Y_P - Y_B) \sin \alpha_t, y_B = (Y_P - Y_B) \cos \alpha_t + (X_B - X_P) \sin \alpha_t.$$

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

7. Визначаємо похідні 4-го порядку від переміщення полюса P миттєвого обертання шатунної площини механізму:

5

$$x_0^{IV} = m_4 - m_1; \quad y_0^{IV} = m_5 - y_0'' - m_2. \quad (11)$$

Коефіцієнти  $m_1 \dots m_5$  визначаються наступним чином:

$$m_1 = 4y_0'''; \quad m_2 = -4x_0''' - 6y_0''; \quad m_3 = 3(y_0'')^2; \quad (12)$$

$$m_4 = \frac{K_1 + 4x_0'' y_0'''}{3y_0''} + 4y_0'''; \quad m_5 = \frac{K_3 - (x_0''' + 3y_0'')(4x_0''' + 6y_0'') + 4(y_0''')^2}{3y_0''}, \quad (13)$$

10

де коефіцієнти  $K_1 \dots K_5$ , що входять у (13):

$$K_1 = [K_4 x_A + K_5 y_A - K_2 y_A^2 - K_3 x_A y_A] / x_A^2; \quad K_2 = y_0''' (4x_0''' + 6y_0''); \quad K_4 = m_3 x_0'''; \quad (14)$$

$$K_3 = \frac{(x_B^2 y_A^2 - x_A^2 y_B^2) K_2 + (x_A^2 x_B - x_A x_B^2) K_4 + (x_A^2 y_B - x_B^2 y_A) K_5}{x_A x_B (y_B x_A - y_A x_B)}; \quad K_5 = m_3 y_0'''. \quad (15)$$

15

8. Визначаємо похідні 5-го порядку від переміщення полюса P миттєвого обертання шатунної площини:

$$x_0^V(\varphi_1) = \frac{5y_B(x_B^2 + y_B^2)(x_A^2 + y_A^2 - y_0'')}{y_A(x_A^2 + y_A^2)(x_B^2 + y_B^2)(x_B - x_A y_B / y_A)} \times \\ \times [2y_0'' y_0''' + (y_0^{IV} - 2x_0''' - 2y_0'')x_A - (x_0^{IV} + 2y_0''')y_A] - \\ - \frac{5(x_B^2 + y_B^2 - y_0'' y_B)[2y_0'' y_0''' + (y_0^{IV} - 2x_0''' - 2y_0'')x_B - (x_0^{IV} + 2y_0''')y_B]}{(x_B - x_A y_B / y_A)(x_B^2 + y_B^2)}, \quad (16)$$

$$y_0^V(\varphi_1) = [2y_0'' y_0''' + (y_0^{IV} - 2x_0''' - 2y_0'')x_A - (x_0^{IV} + 2y_0''')y_A] \times \frac{5(y_0'' y_A - x_0^2 - y_A^2)}{(x_A^2 + y_A^2)y_B} - x_B x_0^{IV} / y_B. \quad (17)$$

20

9. Визначаємо точку розпрямлення 5-го порядку для заданого положення шатунної площини як точку перетину кривої (1) та кривої (2), у системі координат  $x_1 P y_1$ :

$$x_T = \frac{-y_0'' x_0^V y_0^V}{(x_0^V)^2 + (y_0^V)^2}; \quad y_T = \frac{y_0'' (x_0^V)^2}{(x_0^V)^2 + (y_0^V)^2}. \quad (18)$$

25

10. Визначаємо координати точки розпрямлення 5-го порядку T у базовій системі координат xOy. Для цього проведемо перетворення системи координат за наступними формулами:

$$X_T = X_P - x_T \cos \alpha_t + y_T \sin \alpha_t; \quad Y_T = Y_P - y_T \cos \alpha_t - x_T \sin \alpha_t \quad (19)$$

11. Проектуємо важільний чотириланковий механізм, у якого довжина другого плеча шатуна  $k = l_{BT}$  та кут  $\Omega$  його злomu визначає положення шатунної точки, як така буде прийнята знайдена точка розпрямлення 5-го порядку:

$$k = l_{BT} = \sqrt{(X_T - X_B)^2 + (Y_T - Y_B)^2}, \quad (20)$$

$$\Omega = \frac{180}{\pi} \left[ \pi - \varphi_2 + \operatorname{arctg} \left( \frac{Y_T - Y_B}{X_T - X_B} \right) \right], \quad 0 \leq \Omega \leq 360^\circ. \quad (21)$$

12. Кут нахилу прямолінійної ділянки шатунної кривої визначається наступним чином:

$$\xi = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{(Y_P - Y_T - y_0'' \cos \alpha_t)}{(X_P - X_T - y_0'' \sin \alpha_t)} \right\} \quad (22)$$

5 Слід відзначити, що оскільки кут  $\xi$ , а також всі інші кути, значення яких визначаються через функцію  $\operatorname{arctg}(x)$ , можуть змінюватись від 0 до 360°, для їх визначення слід скористатись не звичайною функцією арктангенса, а функцією  $\xi = \operatorname{arctan} 2(y, x)$ , де  $y, x$  - відповідно чисельник та знаменник у виразі (22). Ця функція є у більшості сучасних мов програмування.

10 Як видно з прикладу, зображеного на фіг. 1, знайдена особлива точка - точка розпрямлення 5-го порядку, не збігається іншими відомими особливими точками, які використовуються для проектування важільних прямолінійно-напрямних механізмів та визначає нове сімейство таких механізмів.

15 На фіг. 2 показано приклади шатунних кривих механізмів, синтезованих за допомогою точок розпрямлення 5-го порядку, які визначені для різних положень шатунної площини механізму (на фіг. вказано відповідні кути повороту кривошипа).

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.
- 20 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 чотирилан-кового механізму: дис... канд. техн. наук: 05.02.02 / В.О. Харжевський; Хмельницький держ. ун-т. - Хмельницький, 2004. - 262 с
- 25 5. Gassmann V. Synthese von Geradführungen mit ebenen Viergelenkgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. - 102 p.
6. Yin L. Synthesis method based on solution regions for planar four-bar straight-line linkages / L.Yin, J.Han, C.Mao, J.Huang, T.Yang //Journal of Mechanical Science and Technology, 26 (10) 30 2012, С 3159-3167.
7. Wang D. Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages /Wang D.,Wang W.-John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2015.-450 p.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

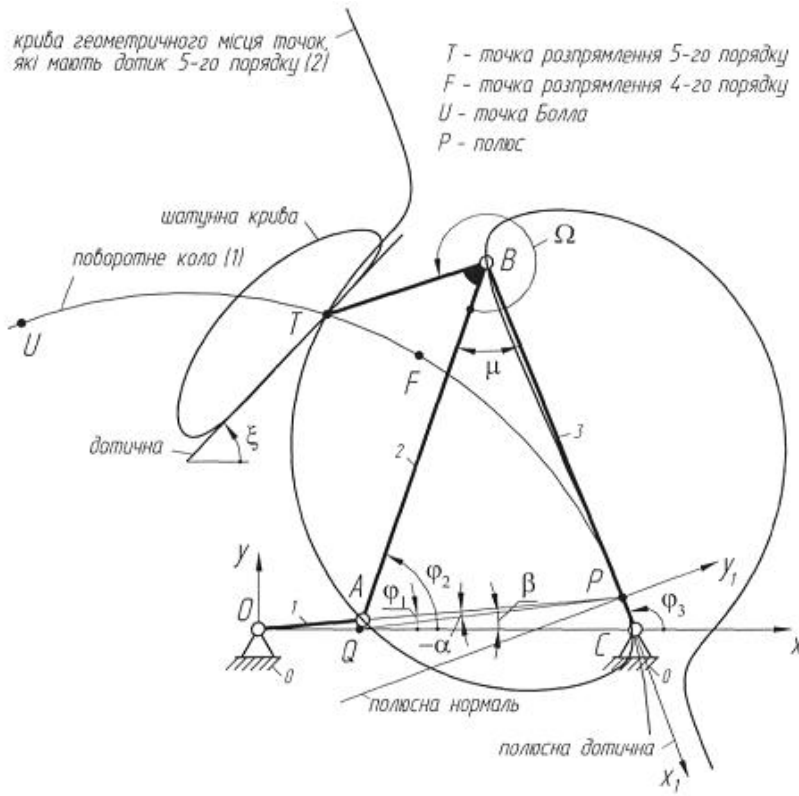
35

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 40 приймається точка розпрямлення 5-го порядку, яка визначається як точка перетину поворотного кола з кривою геометричного місця точок, що характеризуються дотиком не нижче 5-го порядку зі своїми дотичними колами, за формулами:

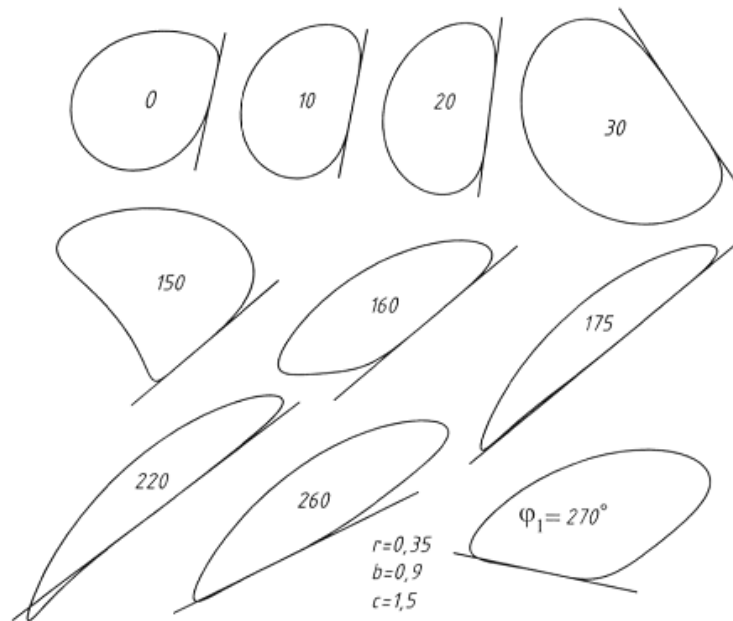
$$x_T = \frac{-y_0'' x_0^V y_0^V}{(x_0^V)^2 + (y_0^V)^2}; \quad y_T = \frac{y_0'' (x_0^V)^2}{(x_0^V)^2 + (y_0^V)^2},$$

45

де  $y_0'', x_0^V, y_0^V$  - похідні відповідно 2-го та 5-го порядків від переміщення полюса миттєвого обертання шатунної площини.



Фиг. 1



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

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