

ПОЛІГРАФІЧНІ МАШИНИ

УДК 621.01.001

Я. Т. КИНИЦЬКИЙ

ДО ПИТАННЯ ПРО СИНТЕЗ ЛЯМБДОПОДІБНИХ МЕХАНІЗМІВ П. Л. ЧЕБИШЕВА З ПАУЗАМИ

Одним із шляхів підвищення надійності виробничих машин-автоматів є заміна в них механізмів з вищими кінематичними парами механізмами з нижчими кінематичними парами. В зв'язку з цим за останні роки більш глибоко розглядаються проблеми синтезу шарнірних механізмів. Зокрема, для забезпечення циклічного руху з однією паузою використовується лямбдоподібний механізм П. Л. Чебишева, до якого приєднана діада DEF (рис. 1).

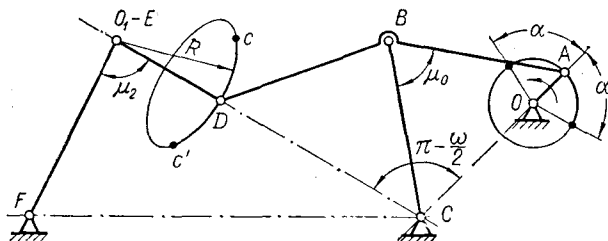


Рис. 1. Схема лямбдоподібного механізму П. Л. Чебишева з паузою.

Характер траєкторії точки D залежить виключно від параметрів $r = \overline{OA}$, $d = \overline{CO}$, $\omega = \angle ABD$ ($\overline{AB} = \overline{BC} = \overline{BD} = 1$). При певних співвідношеннях між ними точка D описує на деякій ділянці cc' шатунну криву, яка наближається до дуги кола радіуса R з центром в точці O_1 . Якщо в точці D приєднати діаду DEF , в якій довжина ланки $\overline{DE} = R$, а положення шарніра F вибрати так, що в одному із крайніх положень ланки EF шарнір E співпадає з точкою O_1 , то коромисло EF буде мати паузу в русі протягом часу переміщення точки D по ділянці cc' ; за цей період кривошип OA повернеться на кут 2α .

Синтезу лямбдоподібних механізмів присвячено ряд робіт П. Л. Чебишева [6], І. І. Артоболевського [1, 2], М. І. Левитського, С. О. Черкудінова [1, 2, 5] та інших вчених. Але незважаючи на це, такі механізми не одержали ще широкого практичного застосування. Це пояснюється перш за все тим, що при довільному виборі параметрів r , d , ω дуже часто не можна знайти дійсних розв'язків. В цьому відношенні заслуговують на увагу дослідження, проведені Л. С. Гродзенською [3, 4] в ІНМАШі, на основі яких розроблено рекомендації з метричного синтезу лямбдоподібних механізмів Чебишева в залежності від часу паузи (або кута паузи 2α) і допустимих кутів передачі, побудовано області існування механізмів, складено довідникові карти, які зв'язують основні геометричні характеристики цих механізмів.

При побудові довідникових карт (3) і перш за все залежності $r = f(d)$, яка лежить в їх основі, був використаний графоаналітичний метод.

Основні геометричні параметри, і що найбільш важливо — довжина кривошипа OA при заданому куті α і вибраних ω і d , можуть бути визначені з наперед заданою точністю порівняно швидко і аналітично за допомогою ЕЦОМ.

ВИКОРИСТАННЯ ЕЦОМ ДЛЯ ПОБУДОВИ ДОВІДНИКОВИХ КАРТ

Задавшись значенням ω , α і d , визначаємо довжину кривошипа з формули [6]

$$r = \sin \frac{\varphi_0}{2} \frac{\sin^2 \frac{\varphi_2}{2}}{\sin \left(\omega - \varphi_2 - \frac{\varphi_0}{2} \right)}, \quad (1)$$

де

$$\sin \frac{\varphi_0}{2} = \frac{d+r}{2}; \quad (2)$$

$$\operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2} = \frac{1}{\sin \frac{\varphi_0 - \varphi_1}{4}} \left[\sqrt{\frac{\sin \frac{\varphi_0}{2}}{\sin \frac{\varphi_1}{2}} - \cos \frac{\varphi_0 - \varphi_1}{4}} \right]; \quad (3)$$

$$\sin \frac{\varphi_1}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{d^2 + r^2 + 2dr \cos \alpha}. \quad (4)$$

Як видно, рівняння (1) трансцендентне, його можна розв'язати тільки наближено методом ітерації, попередньо наклавши на значення величин d і r умови, при яких воно має дійсні розв'язки: а саме:

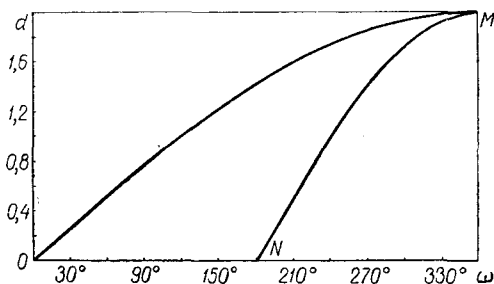


Рис. 2. Залежність граничних значень базовіддалі d від кута злому шатуна ω .

а) при

$$0 < d \leq 1 \quad r_0 = Cd; \quad (5)$$

б) при

$$1 \leq d < 2 \quad r_0 = C(2-d), \quad (6)$$

де коефіцієнт $0 < C < 1$.

Для значень $\omega = 60 \div 270^\circ$ можна рекомендувати $C = 0,25$.

Третя умова обов'язково виконується для всіх значень d , які лежать на відрізку OM ординати діаграм $r=f(d)$. На основі даних роботи [3] побудована діаграма $d=f(\omega)$ (рис. 2), з якої можна визначити границі дійсних значень d (нижня вітка відповідає значенням d в точці O діаграми $r=f(d)$, а верхня — в точці M). Діаграма $d=f(\omega)$ може бути одержана і на основі аналітичних розрахунків.

Слід зауважити, що дійсні значення d для механізмів, в яких $240^\circ \leq \omega < 120^\circ$, можуть дещо виходити за межі зони OMN , але ці зна-

чення не можуть бути використані для проектування циклових механізмів з паузами. При $\omega < 120^\circ$ або кут передачі $\mu'_0 = \varphi'_0 = 2 \arcsin \frac{d-r}{2} < 30^\circ$, або радіус R порівняно малий ($R \ll \overline{D_0 D'_0}$), що не дає можливості спроектувати приєднану діаду так, щоб кут передачі μ_2 (рис. 1) лежав в допустимих межах ($30^\circ \leq \mu_2 \leq 150^\circ$). У випадку, коли $\omega \geq 240^\circ$, навпаки, радіус R дуже великий і, крім цього, шатунна крива майже повністю наближається до прямої лінії ($D_0 D'_0 \rightarrow 0, R \rightarrow \infty$, див. рис. 4, а).

Процес розрахунку здійснювався так: з (5) або (6) визначалось значення r_0 , яке підставляли замість r у формули (2-4), з яких знаходились попередні значення кутів $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2$, а з формули (1) підраховувалось якесь значення r_1 довжини кривошипа.

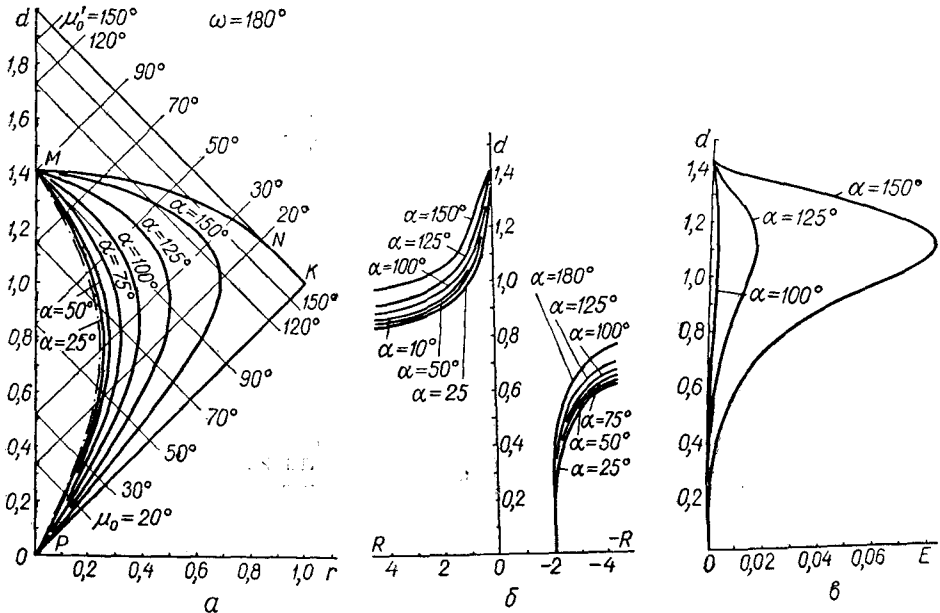


Рис. 3. Довідникова карта для значень $\omega = 180^\circ$.

а — залежність між радіусом r кривошипа і базовіддаллю d при заданих кутах α ; б — залежність радіуса R від базовіддалі d ; в — відхилення траєкторії точки D на ділянці cc' від кола радіуса R .

В тому випадку, коли

$$(r_1 - r_0) \leq \Delta r, \quad (7)$$

задача вважалась розв'язаною (Δr — наперед задана величина похибки).

При невиконанні умови (7) з формули

$$r'_0 = \frac{r_1 + r_0}{2} \quad (8)$$

знаходилося r'_0 , яке підставляли у формули (2—4) замість величини r , і процес розрахунку повторювався.

Розрахунки були зроблені для всіх значень $\omega = 60 \div 270^\circ$ з кроком $\Delta\omega = 10^\circ$, $\alpha = 25 \div 150^\circ$ з кроком $\Delta\alpha = 25^\circ$ і d в зоні OMN (рис. 2) з кроком $\Delta d = 0,05$.

На рис. 3 показано довідникову карту для значень $\omega = 180^\circ$, побудовану на основі одержаних результатів.

Використання ЕЦОМ дозволило доповнити довідникові карти, побудовані Л. С. Гродзенською, збільшити їх кількість і, що дуже важ-

ливо, скласти таблиці цифрових значень основних геометричних параметрів з високою точністю (розрахунки велись з точністю до шостої значущої цифри).

СИНТЕЗ МЕХАНІЗМІВ ЗА ЗАДАНИМ КОЕФІЦІЄНТОМ РОБОЧОГО ХОДУ ВЕДЕНОЇ ЛАНКИ

При проектуванні механізмів дуже часто важливо зберегти задане значення коефіцієнта робочого ходу веденої ланки.

$$K = \frac{t_p}{t_x} = \frac{\beta_p}{\beta_x}, \quad (9)$$

де t_p і β_p , t_x і β_x — відповідно час і кут повороту кривошипа за період робочого і холостого ходів веденої ланки. Цю умову можна здійснити відповідним розміщенням шарніра F на дузі кола $\alpha-\alpha$, описаного з точки O_1 радіусом $b = EF$.

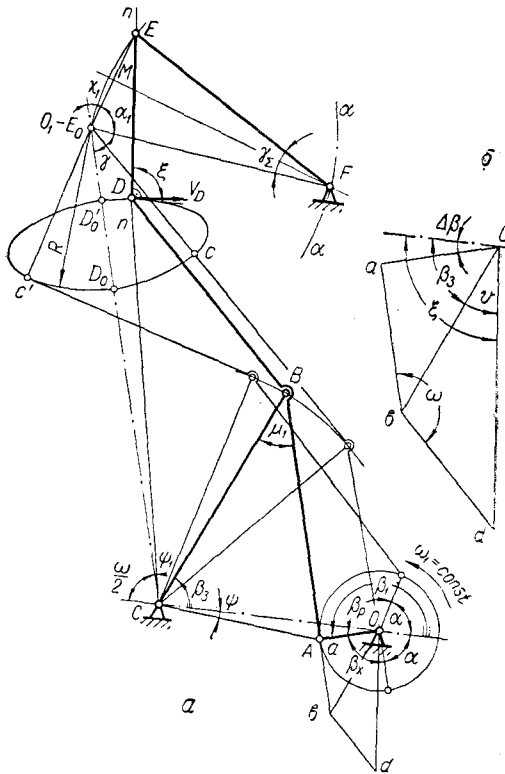


Рис. 4. До питання про синтез лямбдоподібних механізмів П. Л. Чебишева з паузами за заданим коефіцієнтом K робочого ходу веденої ланки.

a — розрахункова схема механізму; b — повернутий на 90° план швидкостей механізму Чебишева.

точки D відповідає положення кривошипа, яке визначається кутом $\beta_1 = \alpha + \beta_p$ (кут β_1 відраховується так, як показано на рис. 4, a).

Таким чином, порядок синтезу механізму буде такий:

1. За заданим коефіцієнтом K робочого ходу веденої ланки визначаємо кут β_p із формули:

Таким чином, задача синтезу цих механізмів зводиться до знаходження довжини коромисла $EF = b$ і кута $\gamma = \angle CO_1F$.

Довжина коромисла EF вибирається із конструктивних міркувань: умов компоновки механізму, бажаного кута розмаху γ , умов заклинювання і прокручування механізму.

При вибраній довжині b коромисла кут γ можна визначити, якщо будуть відомі крайні положення шарніра E .

Крайнє нижнє положення шарніра E співпадає з точкою O_1 (відхиленням шатунної кривої на ділянці cc' від кола радіуса R знехтуємо). В момент початку періоду віддалення коромисла EF від лінії O_1F шарнір D співпадає з точкою c' шатунної кривої, а кривошип OA утворює з напрямком міжосьової лінії CO кут $\beta_1 = \alpha$.

Враховуючи, що для механізмів із значеннями $\omega = 120^\circ \div 270^\circ$ шатунна крива на верхній вітці завжди випукла, коромисло EF буде максимально віддаленим від точки O_1 , тоді, коли шатун ED' співпадатиме з нормаллю $n-n$, яка проведена до шатунної кривої через точку D . Цьому положенню

$$\beta_p = \frac{2K(\pi - \alpha)}{1 + K}. \quad (10)$$

2. Знаходимо координати шарніра D , які відповідають положенню кривошипа при куті $\beta_1 = \alpha + \beta_p$, з формул [6]:

$$\rho = \overline{CD} = 2 \sin \frac{\omega - \mu_1}{2}; \quad (11)$$

$$\psi_1 = \psi = \arcsin \frac{r \sin \beta_1}{\Delta}, \quad (12)$$

де

$$\mu_1 = 2 \arcsin \frac{\Delta}{2}, \quad (13)$$

$$\Delta = \overline{AC} = \sqrt{d^2 + r^2 + 2 dr \cos \beta_1}. \quad (14)$$

Координати точки $D(x_0, y_0)$ в прямокутній системі координат з початком в точці C і віссю абсцис, направленою по CO , будуть:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \rho \cos \left(\frac{\pi - \omega}{2} - \psi_1 \right); \\ y_0 &= \rho \sin \left(\frac{\pi - \omega}{2} - \psi_1 \right). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

3. Для того, щоб визначити положення нормалі $n-n$, будемо повернути на 90° план швидкостей лямбдоподібного механізму Чебишева. Побудову зручно здійснювати безпосередньо на кінематичній схемі механізму.

Проводимо із точки O лінію Ob , паралельну коромислу CB , до перетину з напрямком осі шатуна AB , а з точки b — лінію $bd // BD$, на якій відкладемо відрізок $b\bar{d} = \bar{ab}$, і з'єднавши точку d з точкою O , одержимо повернутий на 90° план швидкостей, в якому $V_A = \overline{Oa} \cdot \mu_V$, $V_B = \overline{Ob} \cdot \mu_V$, $V_{BA} = \overline{ab} \cdot \mu_V$, а $V_D = \overline{Od} \cdot \mu_V$. Оскільки швидкість точки D в кожний момент руху направлена по дотичній до шатунної кривої, то лінія Od визначає напрям нормалі $n-n$, проведеної в точці D до шатунної кривої.

Кут ξ нахилу нормалі $n-n$ до осі абсцис можна визначити із побудованого плану швидкостей (рис. 4, б), звідки видно, що

$$\xi = \beta_3 + \vartheta. \quad (16)$$

В цій формулі

$$\beta_3 = \frac{\pi - \mu_1}{2} + \psi, \quad (17)$$

$$\vartheta = \arcsin \frac{b\bar{d} \cdot \sin(\omega - \mu_1)}{\overline{Od}}, \quad (18)$$

де

$$\overline{Od} = \sqrt{\overline{Ob}^2 + b\bar{d}^2 - 2 \overline{Ob} \cdot b\bar{d} \cos(\omega - \mu_1)}, \quad (19)$$

$$b\bar{d} = \bar{ab} = \frac{\overline{Oa} \cdot \sin(\beta_3 - \Delta \beta)}{\sin \mu_1}, \quad (20)$$

а $\Delta \beta = \beta_1 - \pi$.

4. Знаходим координати точки $E(x_1, y_1)$:

$$x_1 = x_0 + R \cos \xi; \quad y_1 = y_0 + R \sin \xi. \quad (21)$$

5. Довжина відрізка O_1E знаходиться з виразу

$$S = \overline{O_1E} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}, \quad (22)$$

де координати точки $O_1(x_2, y_2)$ визначаються з формул:

$$x_2 = \overline{O_1C} \cdot \cos\left(\pi - \frac{\omega}{2}\right); \quad y_2 = \overline{O_1C} \sin\left(\pi - \frac{\omega}{2}\right). \quad (23)$$

6. Поділивши відрізок O_1E пополам і провівши через точку M перпендикуляр до O_1E , одержимо геометричне місце положень шарніра F , які задовольняють заданому коефіцієнту K .

7. Вибравши довжину коромисла $\overline{EF} = b$, знаходимо кут γ з очевидної залежності

$$\gamma = \pi - \alpha_1 - \chi_1, \quad (24)$$

де

$$\alpha_1 = \arccos \frac{S}{2b}, \quad (25)$$

$$\chi_1 = \pi - \frac{\omega}{2} - \arctg \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}. \quad (26)$$

Довжина коромисла EF при заданій величині кута розмаху γ_2 визначається із формули.

$$b = \frac{S}{2 \sin \frac{\gamma_2}{2}}.$$

При $K=1$ $S = \overline{D_0D'_0}$.

У випадку приєднання до основного механізму $OABCD$ групи 2-го класу 2-го порядку кут χ_1 (26) визначає положення напрямної, вздовж якої рухається повзун, відносно осі O_1C симетрії шатунної кривої [3]. Максимальний хід повзуна S_{\max} визначається з формули (22).

Як видно із вищесказаного, синтез механізмів за заданим коефіцієнтом робочого ходу веденої ланки може бути швидко і просто виконаний графічно. Порядок синтезу такий же.

Спроектований за заданим K механізм треба перевірити на заклинювання і прокручування. Це питання розглядалось в роботі [3]. З метою більш швидкої оцінки кутів передачі μ_2 для всіх механізмів, в яких при $K=1$ кути передачі $30^\circ \leq \mu \leq 150^\circ$, викреслені траєкторії точки D , на яких позначені точки D_0 і D_n перетину шатунної кривої з її віссю симетрії O_1C (рис. 4).

ЛІТЕРАТУРА

1. И. И. Артоболевский, Н. И. Левитский. Научное наследие П. Л. Чебышева. Вып. 2. Теория механизмов. Изд-во АН СССР, 1945.
2. И. И. Артоболевский, Н. И. Левитский, С. А. Черкудинов. Синтез плоских механизмов. Физматгиз, 1959.
3. Л. С. Гродзенская. К проектированию шарнирных механизмов по заданной продолжительности остановки ведомого звена. Семинар по ТММ, т. XVIII, вып. 71, 1958.
4. Л. С. Гродзенская. Применение методов проектирования шарнирных механизмов с остановкой. Семинар по ТММ, т. XIX, вып. 76, 1959.
5. Н. И. Левитский. Синтез механизмов по П. Л. Чебышеву. Изд-во АН СССР, 1946.
6. П. Л. Чебышев. О простейшей суставчатой системе, доставляющей движение, симметричное около одной оси. Собр. соч., т. IV. Изд-во АН СССР, 1948.

У. KINITSKY

ON THE SYNTHESIS OF P. TSHEBYSHEV'S LAMBDA-SHAPED MECHANISMS WITH INTERVALS

Summary

A method of computerized determining main geometrical parameters of P. Tshebyshev's lambda-shaped mechanisms with intervals, as well as a method of their synthesis at the given value of the driven link's working stroke coefficient is discussed.