ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Մեխանիկա XXIV, № 6, 1971 Механика

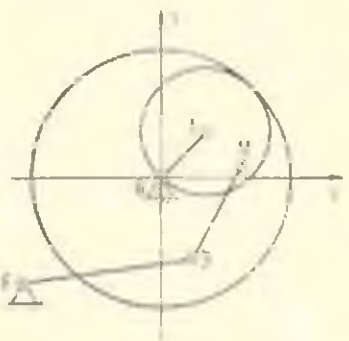
Р. В. АМБАРЦУМЯНЦ

СИНТЕЗ ПЯТИЗВЕННОГО ЗУБЧАТО-РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА С ОСТАНОВКОЙ ВЕДОМОГО КОРОМЫСЛА

В современных машинах-автоматах часто требуется получить качательное движение рабочего звена механизма на заданный угол и, кроме того, его остановку на заданном угле поворота ведущего кривошипа. В связи с изменением технологического процесса возникает необходимость регулировать как угол качания рабочего звена механизма, так и время его остановки. В существующих механизмах, которые в настоящее время применяются в машинах-автоматах, это достигается изменением профиля кулачка, а также длин подвижных звеньев. Для рычажных и зубчато-рычажных механизмов эти вопросы еще не исследованы.

Рассмотрим решение задачи синтеза пятизвенного зубчато-рычажного механизма с остановкой ведомого коромысла с учетом регулирования как его угла размаха, так и времени его остановки.

Базисным выбираем трехзвенную планетарную передачу (фиг. 1) с длиной водила, равной начальному радиусу сателлита. При таком условии любая точка сателлита, не лежащая на начальной окружности, описывает эллипс*. К сателлитной точке M и точке F стойки механизма присоединяем трехшарнирную двухповодковую группу MDF.



Фиг. 1.

Известно, что эллипс является симметричной кривой относительно своих центральных осей.

Отнесем механизм к неподвижной декартовой системе координат с центром в точке O и с осью OX, совпадающей с большой осью эллипса, описываемого сателлитной точкой M (фиг. 1). Причем большая ось указанного эллипса совпадает с положением кривошипа OA, когда он образует прямую линию с отрезком AM. Примем следующие обозначения: $OA = 1$,

λ — расстояние точки M сателлита от точки A,
l — длина шатуна MD,
f — длина ведомого коромысла DF,
Φ — угол выстоя.

* Базисным могут быть и рычажные механизмы, точка шатуна которого описывает эллипс.

Известно [1], что отдельные участки эллипса аппроксимируются дугами окружностей с центрами на центральных осях эллипса. В работе автора [2] было доказано, что в случае расположения центра аппроксимирующей окружности на большой оси эллипса получить качательное движение ведомого звена механизма невозможно. Поэтому для решения поставленной задачи располагаем центр аппроксимирующей окружности D_0 на малой оси эллипса, то есть на оси ОУ. Параметры этой окружности при заданной величине угла выстоя определим по формулам [3]

$$d = -\frac{2\lambda(1+\sin\varphi_1)}{1-\lambda^2} \tag{1}$$

$$r = \frac{\left|(1-\lambda^2)^2 + 4\lambda^2(1+\sin\varphi_1)^2 - 0{,}5\,\lambda^2(1-\lambda^2)^2[(1+\sin\varphi_1)^2 + 4\sin\varphi_1]\right|}{1-\lambda^2} \tag{2}$$

$$\varphi_1 = \frac{1}{2}(\pi - \Phi) \tag{3}$$

Величину λ определим из уравнения

$$\lambda^2\cos(\varphi_1 - \alpha) + 2\lambda\sin\alpha + \cos(\varphi_1 + \alpha) = 0 \tag{4}$$

Значением угла α задаемся, исходя из неравенств

$$\sin\alpha \geq \frac{1}{1{,}2}\cos\varphi_1 \quad \text{и} \quad \alpha \geq \frac{1}{2}\mu,$$

где μ — допускаемый угол передачи между звеньями MD и DF, соответствующий началу движения последнего (после его периодической остановки),

α — угол, образованный отрезком, соединяющим начальную или конечную точку участка приближения и точку D_0 с осью ОУ.

В уравнениях (1), (2), (3) обозначены:

d — ордината точки D_0,

r — радиус аппроксимирующей окружности.

Если принять, что $l = r$, а центр вращения ведомого звена (точка F) выбрать таким, чтобы траектория центра шарнира D проходила через центр аппроксимирующей окружности D_0, то при движении точки M по участку приближения ведомое звено остается приближенно неподвижным. Характер движения ведомого звена, то есть будет ли оно совершать полный оборот или качаться, зависит от положения его центра вращения.

Пусть участок M_1M_2 траектории точки M мало отличается от дуги окружности радиуса r с центром D_0 (фиг. 2). Проводим эллипс 1 — 1, эквидистантным* траектории точки M с эквидистантом, равным

* На фиг. 2 показана только часть этого эллипса.

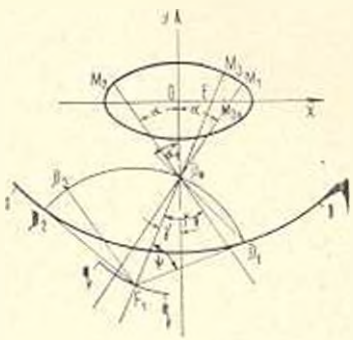
радиусу r. Совершенно очевидно, что возможные положения шатуна MD находятся внутри кривой 1 — 1. Соединим точки M_1 и M_2 с точкой D_0 и продолжим их. В зависимости от выбранного положения центра вращения ведомого звена возможны следующие три случая расположения траектории центра шарнира D относительно кривой 1 — 1:

а) траектория центра шарнира D находится внутри кривой 1 — 1,

б) траектория центра шарнира D соприкасается с кривой 1 — 1,

в) траектория центра шарнира D пересекает кривую 1 — 1.

В первых двух случаях ведомое звено является кривошипом [2, 4], а в третьем случае оно является только коромыслом. Поэтому в дальнейшем рассматриваем только такие положения точки F_1, при которых траектория центра шарнира D пересекает кривую 1 — 1. Определим длину ведомого звена механизма из условия обеспечения заданного его угла размаха ψ. Пусть центр вращения этого звена находится в точке F_1 (в области, ограниченной прямыми M_1D_0, M_2D_0 и ниже от точки D_0), и сателлитная точка M движется против часовой стрелки. Ведомое звено будет неподвижным только в том случае, если оно занимает положение F_1D_0 (в дальнейшем называемым исходным), а точка M движется по участку M_1M_2 (фиг. 2). Поскольку угол γ_0 нам известен, то, как следует из фиг. 2, точка F_1 должна находиться на прямой, проведенной через точку D_0 под углом $\gamma = \gamma_0 - \pi$.



Фиг. 2.

Как выше отмечали, траектория центра шарнира D не выходит за пределы кривой 1 — 1. Следовательно, точка пересечения указанных кривых является одним из крайних положений точки D, а другое крайнее положение совпадает с точкой D_0. Через точку F_1 проводим прямую под углом $\frac{\psi}{2}$ к прямой F_1D_1. Точка D_1, полученная на пересечении этой прямой с эллипсом 1 — 1, будет крайним положением точки D, то есть положение F_1D_1 является вторым крайним положением ведомого звена. При этом $F_1D_0 = F_1D_1 = l$, так как F_1D_0 и F_1D_1 являются радиусами одной и той же окружности. Из равнобедренного треугольника $F_1D_0D_1$ (фиг. 2) найдем

$$l = \frac{D_0D_1}{2\sin\frac{\psi}{2}} \tag{5}$$

Величина

$$D_0D_1 = \sqrt{x_{D1}^2 + (y_{D1} - d)^2}$$

Координаты точки D_1 в выбранной системе координат определим совместным решением уравнения прямой, проходящей через точки

D_0 и D_3 (угловой коэффициент которой $\operatorname{ctg}\alpha_1 = \operatorname{tg}\left(\frac{1}{2}\varphi + \gamma\right)$), с уравнением эллипса 1 — 1, то есть

$$y_{D1} = x_{D1}\operatorname{ctg}\alpha_1 - d$$

$$\frac{x_{D1}^2}{(1+\lambda+l)^2} + \frac{y_{D1}^2}{(1-\lambda+l)^2} = 1 \qquad (6)$$

В результате решения системы (6) получаем

$$\left|\left(\frac{1-\lambda+l}{1+\lambda+l}\right)^2 - \operatorname{ctg}^2\alpha_1\right| x_{D1}^2 - 2dx_{D1}\operatorname{ctg}\alpha_1 - [(1-\lambda+l)^2 - d^2] = 0$$

откуда

$$(x_{D1})_{1,2} = \frac{d(1+\lambda+l)\operatorname{ctg}\alpha_1 \pm (1-\lambda+l)\sqrt{(1+\lambda+l)^2\operatorname{ctg}^2\alpha_1 + (1-\lambda+l)^2 - d^2}}{(1-\lambda+l)^2 - (1+\lambda+l)^2\operatorname{ctg}^2\alpha_1}$$

Значения x_{D1} будут действительными, если

$$(1+\lambda+l)^2\operatorname{ctg}^2\alpha_1 + (1-\lambda+l)^2 > d^2 \qquad (7)$$

Поскольку $1-\lambda > 0$, а l всегда больше d, неравенство (7) обеспечивается при всех значениях λ. Определение координат точки D_1 упрощается, если участок эллипса 1 — 1 (на котором находится точка D_1) заменить дугой окружности [2] с уравнением

$$x_{D1}^2 + (y_{D1} - d)^2 = 4l^2 \qquad (8)$$

Подставляя значение y_{D1} из первого уравнения системы (6) в уравнение (8), находим

$$x_{D1}^2 - 2dx_{D1}\sin(\varphi + 2\gamma) + 4(d^2 - l^2)\cos\left(\frac{1}{2}\varphi + \gamma\right) = 0$$

откуда

$$(x_{D1})_{1,2} = 2\sin\alpha_1\left(d\cos\alpha_1 \pm \sqrt{l^2 - d^2\sin^2\alpha_1}\right) \qquad (9)$$

Из дискриминанта выражения (8) видно, что все корни x_{D1} действительны, так как всегда $l > d$.

После определения величины f (по выражению 4), координаты центра вращения ведомого звена находим по формулам (фиг. 2)

$$x_{F1} = -f\sin\gamma, \quad y_{F1} = d - f\cos\gamma$$

Рассмотрим возможность регулирования угла размаха коромысла DF_1 при неизменной величине угла выстоя.

Из вышеизложенного следует, что величина угла размаха ведомого звена зависит как от положения центра вращения этого звена,

так и от положения точки D_1. Изменим положение этих точек таким образом, чтобы длина звена F_1D оставалась неизменной. Для этого переместим точку F_1 по дуге окружности $q - q$ (фиг. 2) радиуса f, проведенной из точки D_0. Совершенно очевидно, что при таком условии угол выстоя остается неизменным (сателлитная точка движется против часовой стрелки), а угол размаха изменяется, потому что точка D_1 принимает другие положения. Величину нового угла размаха легко определить из выражения (5), если известны новые координаты точки D_1. Координаты точки D_1 находим совместным решением уравнений траектории центра шарнира D и эллипса 1 — 1, то есть

$$(x_{F1} - x_{D1})^2 + (y_{F1} - y_{D1})^2 = f^2$$

$$\frac{x_{D1}^2}{(1+\lambda+l)^2} + \frac{y_{D1}^2}{(1-\lambda+l)^2} = 1 \qquad (10)$$

Систему уравнений (10) можно привести к более простому виду, заменив второе уравнение в ней уравнением (8).

Исследуем теперь характер движения ведомого звена механизма (при прежнем положении его центра вращения), когда сателлитная точка M движется по часовой стрелке. Тогда началу движения ведомого коромысла (после его остановки) соответствует положение M_0D_0 шатуна MD. Проследим за последовательностью движения звена F_1D. Поскольку угол передачи $n_1D_0F_1$ острый, то, как следует из фиг. 2, звено F_1D начинает вращаться против часовой стрелки и занимает второе крайнее положение F_1D_2 (точка D_2 получена на пересечении кривых траектории центра шарнира D и эллипса 1 — 1), причем угол размаха отличается от угла φ. При дальнейшем движении точки M, звено F_1D начинает вращаться по часовой стрелке и когда точка M принимает положение M_2 (начало приближения), ведомое коромысло принимает положение F_1D_2. Совершенно очевидно, что остановка звена F_1D в этом положении невозможна. Ведомое коромысло будет останавливаться, если оно принимает исходное положение F_1D_0. Это произойдет тогда, когда точка M совпадает с положением M_3, которое находится на пересечении прямой F_1D_0 с дугой M_2M_2. Сказанное следует из того, что окружность центра шарнира D и окружность радиуса l, проведенная из точки M_3, имеют общую нормаль в точке их соприкасания D_0. Следовательно, остановка ведомого коромысла происходит при движении точки M участка M_3M_2 эллипса. Обозначим через φ_2 угол, образуемый ведущим кривошипом OA с осью OX в момент совпадения сателлитной точки M с точкой M_3. В положении M_0 сателлитной точки M кривошип OA образует угол φ_1 с осью OX [2], величину которого определим из выражения (3). Тогда угол выстоя коромысла F_1D

$$\Phi_m = |\varphi_2 - \varphi_1|$$

Из прямоугольного треугольника EM_3M_{3x} (фиг. 2) определим

$$\operatorname{ctg}\gamma = \frac{y_{M3}}{x_{M3} - d\operatorname{tg}\gamma} \qquad (11)$$

где x_{M3}, y_{M3} — координаты точки M_3.

Поскольку [2] $x_{M3} = (1+\lambda)\cos\varphi_2$; $y_{M3} = (1-\lambda)\sin\varphi_2$, с учетом уравнения (1) выражение (10) принимает вид

$$\operatorname{ctg}\gamma = \frac{(1-\lambda^2)\sin\varphi_2}{(1-\lambda^2)\cos\varphi_2 - 2\lambda(1+\sin\varphi_2)\operatorname{tg}\gamma}$$

откуда

$$(\operatorname{tg}\varphi_2)_{II} = \frac{(1-\lambda^2)\cos\gamma + 2\lambda}{(1-\lambda^2)\sin\gamma}$$

Ясно, что с увеличением длины дуги M_3M_1 увеличивается время выстоя коромысла FD, что можно достичь изменением положения центра вращения коромысла. Совершенно очевидно, что при этом, как и в предыдущем случае, изменяется угол размаха коромысла. В случае необходимости оставить угол ψ неизменным надо сделать переменной также длину коромысла.

Таким образом, в зависимости от направления вращения ведущего звена механизма изменяется характер движения ведомого коромысла. Если центр вращения ведомого коромысла выбрать вне области, ограниченной прямыми M_1D_0, M_3D_0, ниже от точки D_0, то изменение направления вращения ведущего кривошипа не влияет на характер движения коромысла.

Поскольку участок эллипса приближенно заменяется дугой окружности, то в период остановки ведомое звено отклоняется от положения выстоя. Величины этих отклонений определим по методу, изложенному в работе [5].

Пример: Определить параметры пятизвенного зубчато-рычажного механизма, если угол выстоя $\Phi = 100°$, угол размаха $\psi = 90°$, допускаемый угол передачи $\mu_{\text{доп}} = 60°$.

По формулам (4), (1), (2) находим

$$\lambda = 0.2085, \qquad d = 0.8506, \qquad l = 1.6460$$

и

$$f = 1.1342, \qquad x_{F1} = -0.47897, \qquad y_{F1} = -1.02804$$

Величина максимального отклонения ведомого коромысла в период выстоя — 12′.

Выводы

В силу вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. На основе одного и того же базисного механизма можно получить пятизвенные зубчато-рычажные механизмы, удовлетворяющие другим заданным условиям.

2. Перемещением центра вращения ведомого звена механизма по дуге окружности достигается регулировка как времени остановки ведомого звена, так и его угла размаха.

3. Изменение направления вращения ведущего кривошипа влияет на характер движения ведомого звена, причем это зависит от того, где выбран центр вращения ведомого звена.

Одесский технологический институт
пищевой промышленности
им. М. В. Ломоносова

Поступила 24 XI 1970

Ռ. Վ. ՀԱՄԲԱՐՁՈՒՄՅԱՆ

ՏԱՐՎՈՂ ՃՈՃԱՆԱԿԻ ԿԱՆԳԱՌՈՎ ՀՆԳՕՂԱՆԻ ԱՏԱՄՆԱ-ԼԾԱԿԱՅԻՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԻ ՍԻՆԹԵԶԸ

Ամփոփում

Հոդվածում դիտարկվում է տարվող ճոճանակի կանգառով հնգօղակ ատամնալծակային մեխանիզմի սինթեզը։ Մեխանիզմի անհայտ պարամետրերը (բացի տարվող ճոճանակի երկարությունից) որոշվում են սատելիտային կորի տրված մասի լավագույն մոտեցումով շրջանագծային աղեղին։ Տարվող ճոճանակի երկարությունը որոշվում է նրա ճոճման անկյան ապահովման պայմանից։ Ճոճանակի կանգնման անկյան մեծությունը, ինչպես նաև նրա ճոճման անկյունը կարգավորվում է շրջանագծի աղեղով տարվող ճոճանակի պտտման կենտրոնի տեղափոխմամբ։

SINTHESIS OF A GEARED FIVE-BAR MACHANISM WITH INTERMITENT MOTION OF OUTPUT ROCKER

R. V. AMBARTSUMIANTS

Summary

The sinthesis is presented for the geared five-bar mechanism with intermittent motion of the output rocker. The unknown parameters of the mechanism (except the length of the output rocker) are found by the method of best approximation of the given satellite curve section to the circumference arc. The length of the output rocker is determined from the condition to guarantee its angle oscillation. The value

of the stop angle as well as the output rocker oscillation angle are regulated by displacement of the output rosker revolution centre along the circumference are.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Левитский Н. И.* Синтез механизмов по Чебышеву. Изд. АН СССР, 1946.
2. *Амбарцумянц Р. В.* Синтез шестизвенного рычажного механизма периодического поворота с регулируемой величиной угла выстоя. Изв. АН Арм.ССР, Механика, т. 23, № 4, 1970.
3. *Амбарцумянц Р. В.* Синтез пятизвенного зубчато-рычажного механизма с периодической остановкой ведомого кривошипа. Изв. АН Арм.ССР, Механика, т. 23, № 3, 1970.
4. *Амбарцумянц Р. В.* Синтез пятизвенного зубчато-рычажного механизма периодического поворота с регулированием величины угла выстоя. Тезисы доклада „Расчет, конструирование и исследование оборудования производства источников тока". Изд. Энергия, М., 1970.
5. *Зиновьев В. А.* Курс по теории механизмов и машин. Физматгиз, 1960.