

УДК 677.05 : 621.01

**АНАЛИТИКО-ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ
ШЕСТИЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА С ВЫСТОЕМ**

А.Б. КИКИН, Э.Е. ПЕЙСАХ

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Шестизвенные шарнирные механизмы (ШШМ) часто используются для привода рабочих органов технологических машин, в том числе – машин текстильной и легкой промышленности. Функциональные возможности ШШМ таковы, что при соответствующем выборе параметров они могут воспроизводить движение рабочего органа с приближенным выстоем в одном из крайних его положений. Эта задача синтеза, достаточно часто встречающаяся в инженерной практике, рассматривается в данной статье.

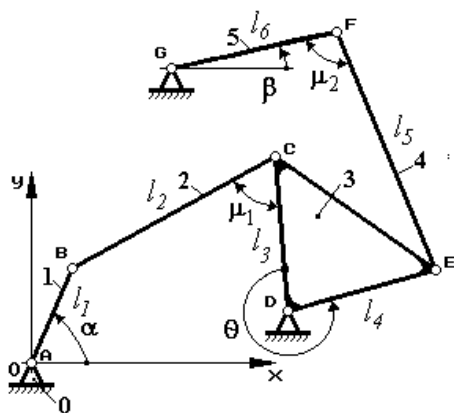


Рис.1

Кинематическая схема ШШМ (рис. 1) имеет 13 постоянных параметров: $x_A, y_A, x_D, y_D, x_G, y_G, l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, \theta$. Звень-

ям механизма присвоены номера: 0 – стойка; 1 – входное звено АВ (кривошип); 5 – выходное звено GF (коромысло); 2, 3, 4 – промежуточные подвижные звенья.

Переменные параметры механизма: α и β – угловые координаты входного и выходного звеньев; α_0 и β_0 – значения углов α и β в начальном положении механизма (которое обозначено цифрой 0 на рис. 2); φ и ψ – углы поворота звеньев 1 и 5, отсчитываемые от их начальных положений; μ_1 и μ_2 – углы передачи в первой и второй диадах механизма. Зависимость $\psi = \psi(\varphi)$, $0 \leq \varphi \leq 360^\circ$ будем называть функцией положения механизма.

Углы α и φ , а также углы β и ψ , связаны соотношениями: $\alpha = \alpha_0 + P_1 \varphi$, $\beta = \beta_0 + P_5 \cdot \psi$. Здесь: P_1 – признак направления вращения кривошипа 1; P_5 – признак направления поворота выходного звена 5 от крайнего положения 0 к зоне приближенного выстоя этого звена. Признаку P_1 присваивается значение: $P_1 = +1$ – при вращении звена 1 против часовой стрелки; $P_1 = -1$ – при вращении звена 1 по часовой стрелке. Признаку P_5 присваивается значение: $P_5 = +1$ – при повороте звена 5 против часовой стрелки от положения 0 к зоне выстоя; $P_5 = -1$ – в альтернативном случае.

Введем показатели (признаки) M_1 и M_2 вариантов сборки первой и второй диад. Этим признакам будем присваивать значения по следующим правилам: $M_1 = +1$, если поворот вектора \overline{BC} вокруг точки D виден против часовой стрелки, и $M_1 = -1$ – в противном случае; $M_2 = +1$, если поворот вектора \overline{EF} вокруг точки G виден против часовой стрелки, и $M_2 = -1$ – в противном случае.

Отметим здесь одну привлекательную особенность ШШМ рассматриваемой структуры: функция положения $\psi = \psi(\varphi)$ этого механизма не меняется при пропорциональном изменении размеров звеньев, входящих в каждый замкнутый контур ABCD и DEFG, а также при повороте каждого из этих контуров вокруг неподвижных шарниров A, D, G . Указанное свойство позволяет при проектировании механизма произвольно назначать координаты $x_A, y_A, x_D, y_D, x_G, y_G$ неподвижных шарниров, вследствие чего число неизвестных параметров ШШМ, которые нужно определить при его синтезе, уменьшается до семи (параметры $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, \theta$).

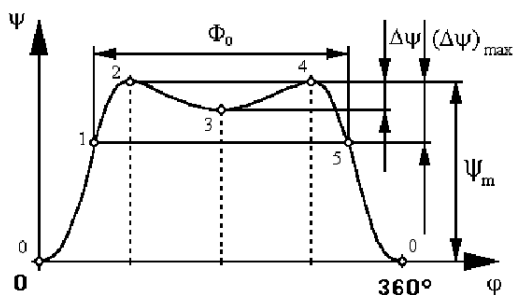


Рис. 2

График заданной функции положения $\psi = \psi(\varphi)$ показан на рис. 2. На графике указаны шесть характерных точек: 0 и 3 – точки минимума; 2 и 4 – точки максимума; 1 и 5 – две промежуточные точки, имеющие одну и ту же ординату ψ . Точки 0, 2 и 4 соответствуют двум крайним положениям звена 5.

Функция положения $\psi = \psi(\varphi)$ характеризуется следующими четырьмя угловыми параметрами: $\psi_m \square = \psi_2 = \psi_4$ – угол полного размаха выходного звена 5; $\Delta\psi = \psi_2 -$

ψ_3 – угол малого размаха звена 5; $(\Delta\psi)_{\max} = \psi_2 - \psi_1$ – максимально допустимое значение угла малого размаха $\Delta\psi$; $\Phi_0 = \varphi_5 - \varphi_1$ – угол поворота кривошипа 1 от положения 1 до положения 5.

Условия задачи синтеза будем разделять на основные условия (ОУ) и дополнительные условия (ДУ). ОУ относятся к функции положения $\psi = \psi(\varphi)$ механизма, а ДУ включают в себя все другие условия синтеза, в том числе – различные ограничения (имеющие обычно форму неравенств).

Введем три основных условия синтеза:

ОУ1 – заданные углы $\psi_m, (\Delta\psi)_{\max}$ и Φ_0 шестизвенник должен воспроизводить точно;

ОУ2 – угол $\Delta\psi$ должен удовлетворять условию: $0 \leq \Delta\psi \leq (\Delta\psi)_{\max}$;

ОУ3 – задано направление вращения входного звена 1 (признак P_1), а также направление поворота выходного звена 5 от крайнего положения 0 к зоне приближенного выстоя этого звена (признак P_5).

При синтезе механизма учтены пять дополнительных условий:

ДУ1 – шестизвенник должен существовать в виде замкнутой кинематической цепи при любом положении входного кривошипа 1, а выходное звено 5 должно быть коромыслом;

ДУ2 – координаты $x_A, y_A, x_D, y_D, x_G, y_G$ неподвижных точек A, D, G заданы;

ДУ3 – длина l_6 выходного звена 5 задана;

ДУ4 – должны выполняться ограничения: $(l_i)_{\min} \leq l_i \leq (l_i)_{\max}$ ($i = 1, 3, 4$), где $(l_i)_{\min}$ и $(l_i)_{\max}$ – заданные допустимые пределы изменения постоянных параметров l_1, l_3, l_4 механизма;

ДУ5 – углы передачи μ_1 и μ_2 должны удовлетворять условию: $(\mu_i)_{\text{ext}} \geq \mu_{\text{lim}}$ ($i = 1, 2$), где $(\mu_i)_{\text{ext}}$ – экстремальные (наименее благоприятные) значения углов передачи μ_1 и μ_2 при изменении угла φ от 0 до 360°; μ_{lim} – заданное минимально допустимое значение угла передачи.

Для решения сформулированной задачи синтеза используется аналитико-оптимизационный метод [1], [2]. В соот-

ветствии с этим методом определяются все шесть неизвестных постоянных параметров $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, \theta$ механизма, причем четыре параметра l_1, l_2, l_3, θ определяются аналитически, а два параметра l_4, l_5 – путем оптимизационного поиска. Кроме того, описываемый алгоритм позволяет найти оптимальное значение угла малого размаха $\Delta\psi$.

Расчет четырех вычисляемых параметров l_1, l_2, l_3, θ производится при фиксированных значениях трех варьируемых параметров $l_4, l_5, \Delta\psi$ на основании условий ОУ1, ОУ3 и ДУ1. Поиск значений трех варьируемых параметров $l_4, l_5, \Delta\psi$ производится на основании условий ОУ2, ДУ2, ДУ3, ДУ4 и ДУ5. При поиске использован метод сканирования с тремя вложенными циклами, позволяющий найти глобальный минимум целевой функции. Что касается допустимых пределов изменения варьируемых параметров, то они или заданы (для параметров $l_4, \Delta\psi$), или определяются аналитически (для параметра l_5).

В том случае, когда решение задачи синтеза существует, мы получаем некоторую область значений трех варьируемых параметров $l_4, l_5, \Delta\psi$, в пределах которой выполняются все указанные выше основные и дополнительные условия синтеза. Между тем, описываемый алгоритм позволяет найти одну оптимальную точку внутри упомянутой области, то есть один оптимальный набор значений трех варьируемых параметров. Эта точка определяется на основании еще одного дополнительного условия синтеза, которое будем называть оптимизационным условием. Оно выражается в следующей форме: $\mu_{\text{ext}} \rightarrow \max$. Здесь μ_{ext} – экстремальное (наименее благоприятное) значение угла передачи в механизме, определяемое по формуле: $\mu_{\text{ext}} = \min((\mu_1)_{\text{ext}}, (\mu_2)_{\text{ext}})$.

Таким образом, описываемый алгоритм позволяет найти одно наиболее оптимальное решение рассматриваемой задачи синтеза ШШМ с выстоем выходного звена.

Отметим, что одно решение получается при условии, что каждому из структурных признаков, характеризующих проектируемый шестизвенник, присваивается определенное значение (+1 или -1). К указанным признакам относятся: M_1, M_2, P_1, P_5 и P_0 . О признаках M_1, M_2, P_1, P_5 было сказано выше. Признак P_0 характеризует взаимное расположение шарниров А, В и С в положении 0 механизма: если шарнир В расположен между шарнирами А и С, то $P_0 = +1$; если же шарнир А расположен между шарнирами В и С, то $P_0 = -1$.

В программной реализации алгоритма синтеза предусмотрен перебор всех возможных сочетаний признаков M_1, M_2 и P_0 . Таким образом, синтезируется до $2^3 = 8$ модификаций ШШМ, удовлетворяющих всем условиям синтеза при одном и том же наборе значений исходных данных (для некоторых из восьми возможных сочетаний признаков M_1, M_2 и P_0 задача может не иметь решения).

Первый вариант программы синтеза ШШМ с выстоем был разработан для ПК под управлением операционной системы MS-DOS [2]. К настоящему времени разработана новая версия программы синтеза ШШМ для Windows (программа составлена на алгоритмическом языке C++). Программа для Windows имеет более удобный и проработанный интерфейс.

На рис. 3 показано окно программы синтеза ШШМ в режиме выбора задачи и ввода основных исходных данных, а на рис. 4 – окно просмотра и интерактивного выбора вариантов синтезированных шестизвенников.

При помощи данной программы было синтезировано большое число (около пятидесяти) механизмов привода рабочих органов различных технологических машин. В табл. 1 приведено несколько примеров синтезированных шестизвенных механизмов.

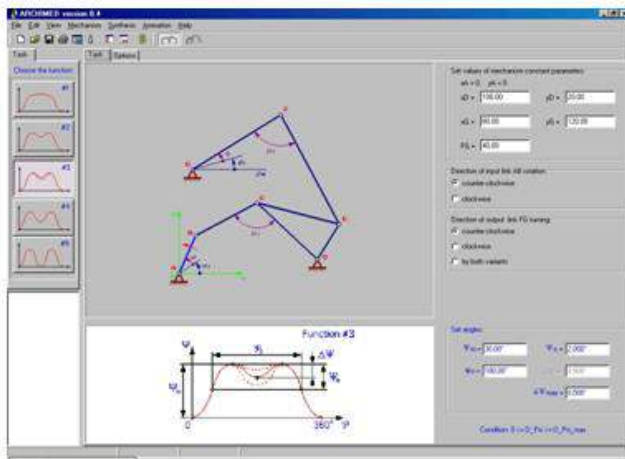


Рис. 3

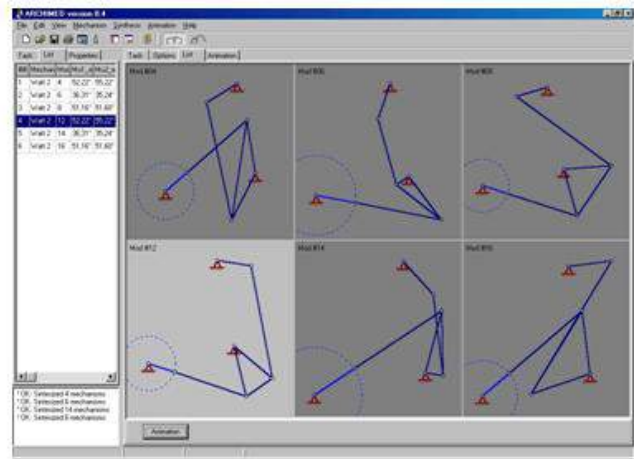


Рис. 4

Т а б л и ц а 1

Параметр	Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Пример 5	Пример 6
Ψ_m	74,9°	14,3°	30°	30°	10°	20°
$\Delta\psi$	2,57°	0,23°	0,3°	0,3°	-	10°
Φ_0	143,5°	112,7°	120°	120°	-	-
x_{D_1} , мм	-462,000	141,000	100	100	100,000	100,000
y_{D_1} , мм	-276,000	-168,000	20	20	0	0
x_{G_1} , мм	-274,000	-141,000	80	80	0	0
y_{G_1} , мм	150,000	-118,000	120	120	200,000	200,000
$\ell_1 = AB$, мм	55,000	30,320	32,186	19,993	6,056	25,199
$\ell_2 = BC$, мм	430,000	214,930	88,637	90,569	99,611	93,759
$\ell_3 = CD$, мм	328,250	53,390	59,829	50,961	10,696	42,944
$\theta = \angle CDE$	-17,930°	-73,270°	78,629°	68,292°	35,437°	13,084°
$\ell_4 = DE$, мм	385,540	71,980	62,800	127,600	44,200	55,600
$\ell_5 = EF$, мм	110,020	90,350	148,251	228,293	156,120	142,732
$\ell_6 = FG$, мм	63,380	254,570	40	40	60,000	60,000
α_0	174,000°	298,500°	341,670°	343,945°	5,058°	20,349°
M_1	+1	+1	+1	+1	-1	-1
M_2	+1	+1	-1	-1	-1	-1
μ_{1ext}	77,9°	54,5°	51,8°	63,8°	34,6°	38,7°
μ_{2ext}	45,9°	54,1°	51,7°	31,1°	35,4°	39,4°

В примере 1 представлен механизм для привода водила дифференциала отдельного механизма гребнечесальной машины. Пример 2 относится к механизму привода батана ткацкого станка П-105. Примеры 3 и 4 почти совпадают в отношении выбора исходных данных, за исключением только одного дополнительного условия синтеза, а именно: в примере 4 задан очень малый допустимый промежуток для значений вычисляемого параметра ℓ_1 : $19,99 = (\ell_1)_{\min} \leq \ell_1 \leq (\ell_1)_{\max} = 20,01$. В примере 5 получен механизм, обеспечивающий полный двойной ход выходного звена 5 за один оборот входного звена 1. В

примере 6 синтезирован механизм, у которого отношение $\Delta\psi / \psi_m$ равно 0,5.

Об эффективности разработанного алгоритма синтеза шестизвенного механизма с выстоем свидетельствует время, необходимое для вычислений по соответствующей компьютерной программе. При использовании компьютера с процессором AMD Athlon 900 MHz при 500 тысячах узлов трехмерной сетки, используемой при сканировании области допустимых значений трех варьируемых параметров, время получения всех возможных модификаций механизма составляет около 70 секунд.

ВЫВОДЫ

1. Предложен аналитико-оптимизационный метод синтеза ШШМ, реализованный в виде интерактивной программы для ПК.
2. Приведены примеры синтезированных ШШМ, обеспечивающих как приближенный выстой, так и заданный обратный ход выходного звена.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пейсах Э.Е.* Справочные карты по синтезу шарнирного шестизвенника // *Механика машин.* – М., 1974, вып. 44. С. 125...139.
2. *Peisach E., Kikin A.* SYNMECH: The computer system on synthesis of plane linkages. / *The 7th International Symposium on Linkages and Computer Aided Design Methods. Theory and Practice of Mechanisms (SYROM'97).* – Romania, Bucharest, 1997, Vol. 1. P. 227...234.

Рекомендована кафедрой автоматизации производственных процессов. Поступила 03.02.08.
