

УДК 621.798.3

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕНОСНЫМ ДВИЖЕНИЕМ МАНИПУЛЯТОРА С ПРОСТРАНСТВЕННО ПЛАНЕТАРНОЙ РОЛИКОВОЙ ГОЛОВКОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УПАКОВКИ С РАЗЛИЧНЫМ ПРОФИЛЕМ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Лазуткина Н.А.

Муromский институт (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Муrom, Россия (602264, г. Муrom, ул. Орловская, 23), e-mail: center@mivlgu.ru

В работе рассматривается возможность применения манипулятора с пространственно планетарной роликовой головкой для изготовления упаковки с различным профилем поперечного сечения. В качестве механической модели будет рассмотрено твердое тело, имеющее неподвижную точку. Водило манипулятора не совершает вращение вокруг своей оси, следовательно, его положение в пространстве определяется двумя углами Эйлера – углом прецессии ψ и углом нутации θ . Для управления переносным движением манипулятора были выведены законы изменения углов ψ и θ . Целесообразно выразить эти углы в функции угла поворота водила φ : $\psi = \psi(\varphi)$, $\theta = \theta(\varphi)$. В статье рассмотрен подробно случай, когда траектория движения оси манипулятора представляет собой окружность по закону $\varphi_1 = -3\varphi$. Выведенные законы переносного движения манипулятора являются исходными данными для разработки систем автоматического управления пространственно планетарного манипулятора.

Ключевые слова: манипулятор, пространственно планетарная роликовая головка, профиль поперечного сечения.

THE PORTABLE MOTION CONTROL OF THE MANIPULATOR WITH THE SPATIAL PLANETARY ROLLER HEAD FOR THE MANUFACTURE OF PACKAGES WITH DIFFERENT CROSS-SECTIONAL PROFILE

Lazutkina N.A.

Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia (602264, Murom, street Orlovskaya, 23), e-mail: center@mivlgu.ru

This paper examines the possibility of using spatial manipulator with planetary roller head for the manufacture of packages with different cross-sectional profile. As a mechanical model may be considered a rigid body with a fixed point. Drove arm does not rotate around its axis, therefore its position in space is determined by two Euler angles - the angle of precession ψ and the angle of nutation θ . To control the portable motion of the manipulator were derived the laws of change of the angles ψ and θ . It is advisable to Express these angles as a function of angle of rotation walked φ : $\psi = \psi(\varphi)$, $\theta = \theta(\varphi)$. The article considers in detail the case when the trajectory of the axis of the manipulator is a circle by law $\varphi_1 = -3\varphi$. Derived the laws of the handheld manipulator movements are input to the development of automatic control systems spatial planetary manipulator.

Key words: the manipulator, the spatial planetary roller head, the cross-sectional profile.

Манипулятор, предназначенный для изготовления упаковки с различным профилем поперечного сечения, должен иметь водило (ось), шарнирно закрепленное на раме. В качестве механической модели манипулятора будем рассматривать твердое тело, имеющее неподвижную точку. Поскольку ось водила не совершает вращение вокруг своей оси, то ее положение в пространстве определяется двумя углами Эйлера – углом прецессии ψ и углом нутации θ . Для управления переносным движением манипулятора (движением оси водила) необходимо задать законы изменения углов ψ и θ . Целесообразно выразить эти углы в функции угла поворота водила φ :

$$\psi = \psi(\varphi); \theta = \theta(\varphi). \quad (1)$$

Управление переносным движением манипулятора

Рассмотрим управление переносным движением пространственно планетарной роликовой головки для изготовления упаковки квадратного сечения. На рис. 1 показана заданная форма поперечного сечения упаковки.

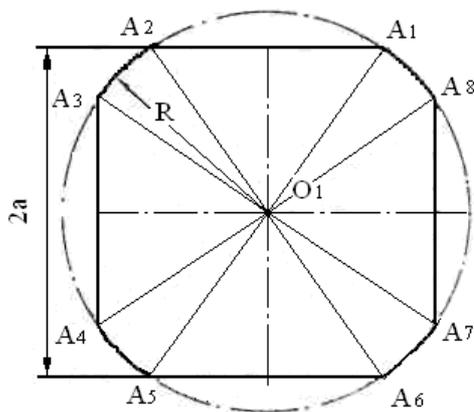


Рис. 1. Заданная форма поперечного сечения.

Для вывода уравнения (1) введем систему координат. Система координат $O\xi\eta\zeta$ является инерциальной (связана с рамой манипулятора) и может рассматриваться как неподвижная. Начало координат этой системы помещено в точку шарнирного крепления водила (оси) к раме манипулятора (точка O). Положительное направление осей системы: координатная ось $O\eta$ направлена по оси симметрии проводимого сечения; ось $O\xi$ в горизонтальной плоскости направлена вправо относительно направления проведения сечения; ось $O\zeta$ направлена перпендикулярно плоскости $O\xi\eta$. С водилом оси неизменно связана система координат $Oxyz$ с началом в той же точке O ; ось Oy совпадает с осью водила. Положение системы координат $Oxyz$ относительно системы $O\xi\eta\zeta$, а следовательно и положение водила, определяется углом ψ и θ . Направление осей симметрии $Oxyz$ совпадает с направлением соответствующих осей симметрии системы в момент, когда ось водила совпадает с осью симметрии сечения на упаковке. Кроме того, введем систему координат $O_1x_1y_1z_1$ с началом в точке O_1 , являющейся концом водила. Оси этой системы параллельны соответствующим осям системы $Oxyz$, и, наконец, вводится еще одна система координат $O_1x'y'z'$, неизменно связанная с пространственно планетарной роликовой головкой и вращающейся вокруг оси водила пространственно планетарной роликовой головки с угловой скоростью, равной ω .

Пусть водило пространственно планетарной роликовой головки будет повернуто на угол φ положительный, при условии, что он отсчитывается против часовой стрелки, если

смотреть с положительного направления координатной оси Oy . Для того чтобы в новом положении водила ролики находились в контакте с заготовкой упаковки, необходимо перевести водило в определенное положение, повернув его вокруг точки O , причем углы ψ и θ , определяющие новое положение манипулятора, должны быть такими, чтобы ролики находились на линии aA . Очевидно, перевод манипулятора в требуемое положение можно осуществить различными способами. Рассмотрим два из них. 1. При повороте манипулятора на произвольный угол его положение должно быть таким, чтобы прямая AO_1' пересекала ось OO_1 . 2. Траектория движения конца оси манипулятора представляет собой окружность, центр которой расположен на оси заготовки упаковки (рис. 2) и угол поворота радиуса этой окружности связан с углом поворота водила в соотношении: $\varphi_1 = -3\varphi$.

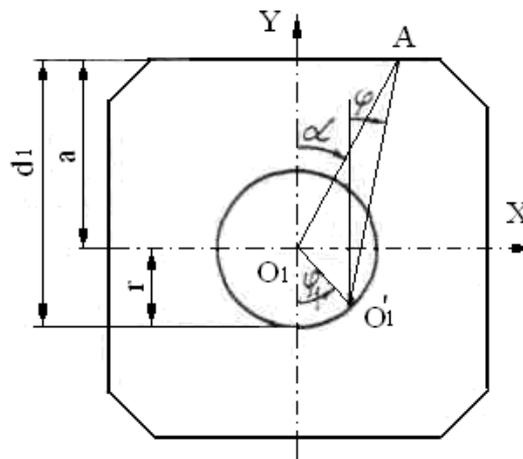


Рис. 2.

Знак «минус» указывает, что вращение водила O_1A и радиус окружности OO_1 направлены в противоположные стороны.

Выпишем координаты точки A в системе $O_1'x'y'z'$: $x'_A = 0$; $y'_A = 0$; $z'_A = a$. В системе $Oxyz$ координаты точки A будут: $x_A = a \sin \varphi$; $y_A = L$; $z_A = a \cos \varphi$.

Теперь определим координаты точки A в системе $O\xi\eta\zeta$. Поскольку система координат $Oxyz$ получается путем поворота осей системы $O\xi\eta\zeta$ относительно оси $O\xi$ на угол ψ и последующего поворота системы относительно оси Ox на угол θ , то координаты точки A в системе $O\xi\eta\zeta$ будут: $\xi_A = x_A \alpha_{11} + y_A \alpha_{21} + z_A \alpha_{31}$; $\eta_A = x_A \alpha_{12} + y_A \alpha_{22} + z_A \alpha_{32}$; $\zeta_A = x_A \alpha_{13} + y_A \alpha_{23} + z_A \alpha_{33}$, где α_{ij} ; $i, j = 1, 2, 3$ – косинусы углов между соответствующими осями. Значения косинусов: $\alpha_{11} = \cos \psi$; $\alpha_{12} = \sin \psi$; $\alpha_{13} = 0$; $\alpha_{21} = -\sin \psi \cdot \cos \theta$; $\alpha_{22} = \cos \psi \cdot \cos \theta$; $\alpha_{23} = \sin \theta$; $\alpha_{31} = \sin \psi \cdot \sin \theta$; $\alpha_{32} = -\cos \psi \cdot \sin \theta$; $\alpha_{33} = \cos \theta$.

Таким образом, координаты точки A в системе $O\xi\eta\zeta$:

$$\begin{aligned}
\xi_A &= a \sin \varphi \cdot \cos \psi - L \sin \psi \cdot \cos \theta + a \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta; \\
\eta_A &= a \sin \varphi \cdot \cos \psi + L \cos \psi \cdot \cos \theta - a \cos \varphi \cdot \cos \psi \cdot \sin \theta; \\
\zeta_A &= L \sin \theta + a \cos \varphi \cdot \cos \theta,
\end{aligned} \tag{2}$$

где L – расстояние от точки шарнирного закрепления оси манипулятора на раме до точки пересечения оси водила с плоскостью, в которой вращается водило пространственно планетарной роликовой головки.

Формулы (2) остаются справедливыми для любого значения угла поворота водила φ . Для вывода уравнений, связывающих углы ψ , θ , φ , необходимо последовательно рассмотреть выделенные на рис. 1 участки профиля упаковки, налагая определенные условия на координаты ξ_A и ζ_A , определяющие заданную форму поперечного сечения.

Участок A_1A_2 . Чтобы упаковка имела форму поперечного сечения в виде квадрата, необходимо выполнение условий: $\xi_A = atg\alpha$; $\zeta_A = 0$, что на основании (2) приводит к системе двух уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
L \sin \theta + a \cos \varphi \cdot \cos \theta - a &= 0; \\
-L \sin \psi \cdot \cos \theta + a \sin \varphi \cdot \cos \psi + a \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta - atg\alpha &= 0,
\end{aligned} \right\} \tag{3}$$

где α – угол обхода профиля поперечного сечения упаковки.

Рассуждая аналогично, запишем для других участков профиля условия, налагаемые на координаты ξ_A и ζ_A , и получаемые из (2) уравнения.

$$\begin{aligned}
\text{Участок } A_3A_4: \xi_A &= -a; \zeta_A = -actg\alpha; \\
\left. \begin{aligned}
L \sin \theta + a \cos \varphi \cdot \cos \theta + actg\alpha &= 0 \\
-L \sin \psi \cdot \cos \theta + a \sin \varphi \cdot \cos \psi + a \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta + a &= 0.
\end{aligned} \right\} \tag{4}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Участок } A_5A_6: \xi_A &= -atg\alpha; \zeta_A = -a; \\
\left. \begin{aligned}
L \sin \theta + a \cos \varphi \cdot \cos \theta - a &= 0; \\
-L \sin \psi \cdot \cos \theta + a \sin \varphi \cdot \cos \psi + a \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta + atg\alpha &= 0.
\end{aligned} \right\} \tag{5}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Участок } A_7A_8: \xi_A &= a; \zeta_A = actg\alpha; \\
\left. \begin{aligned}
L \sin \theta + a \cos \varphi \cdot \cos \theta - actg\alpha &= 0; \\
-L \sin \psi \cdot \cos \theta + a \sin \varphi \cdot \cos \psi + a \cos \varphi \cdot \cos \psi \cdot \sin \theta - a &= 0.
\end{aligned} \right\} \tag{6}
\end{aligned}$$

Участки A_2A_3 , A_4A_5 , A_6A_7 , A_8A_1 – дуги окружности радиуса R , для них условия, налагаемые на координаты ξ_A и ζ_A ($\xi_A = R \sin \alpha$; $\zeta_A = R \cos \alpha$), и уравнения, получаемые из (2), будут одинаковыми:

$$\left. \begin{aligned}
L \sin \theta + a \cos \varphi \cdot \cos \theta - R \cos \alpha &= 0; \\
-L \sin \psi \cdot \cos \theta + a \sin \varphi \cdot \cos \psi + a \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta - R \sin \alpha &= 0.
\end{aligned} \right\} \tag{7}$$

Для нахождения зависимости угла α , входящего в уравнения (3)-(7), от угла φ

$$\alpha = \alpha(\varphi) \quad (8)$$

воспользуемся условием, что при повороте водила на произвольный угол прямая AO_1' должна пересекать ось OO_1 и, следовательно, прямые AO_1' и aO_1 располагаются в одной плоскости. Запишем уравнения прямых AO_1' и aO_1 на основании формул прямой линии, проходящей через две заданные точки:

уравнение прямой AO_1'

$$\frac{\xi + L \sin \psi \cdot \cos \theta}{a \sin \varphi \cdot \cos \psi + a \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta} = \frac{\eta - L \cos \psi \cdot \cos \theta}{a \sin \varphi \cdot \sin \psi - a \cos \varphi \cdot \cos \psi \cdot \sin \theta} = \frac{\xi - L \sin \theta}{a \cos \varphi \cdot \cos \theta};$$

уравнение прямой aO_1

$$\xi / (a \cdot \operatorname{tg} \alpha) = (\eta - L) / 0 = \zeta / a.$$

Условие принадлежности прямых AO_1' и aO_1 одной плоскости:

$$\begin{vmatrix} -L \sin \psi \cdot \cos \theta & L \cos \psi \cdot \cos \theta - L \\ a \operatorname{tg} \alpha & 0 \\ a \sin \varphi \cdot \cos \psi + a \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta & a \sin \varphi \cdot \sin \psi - a \cos \varphi \cdot \cos \psi \cdot \sin \theta \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} L \sin \theta \\ a \\ a \cos \varphi \cdot \cos \theta \end{vmatrix} = 0.$$

Раскрыв определитель и выполнив необходимые преобразования, получим уравнение $-\sin \varphi (\cos \psi - \cos \theta) - \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta + \operatorname{tg} \alpha [\cos \varphi (\cos \theta - \cos \psi) + \sin \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta] = 0$, (9) которое в соответствии с уравнениями (3)-(7) позволяет определить закон движения манипулятора.

Будем отсчитывать углы ψ и θ в этом случае так же, как и при первом способе перемещения водила. Поэтому координаты точки контакта роликов с профилем поперечного сечения упаковки A выражаются по формулам, аналогичным (2), с той разницей, что длина водила O_1A в этом случае отлична от a . Обозначим ее через d_1 : $\xi_A = -L \sin \psi \cdot \cos \theta + d_1 \times (\sin \varphi \cdot \cos \psi + \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta)$; $\zeta_A = L \sin \theta + d_1 \cos \varphi \cdot \cos \theta$, а координаты конца оси водила O_1 выражаются так: $\xi_{O_1} = -L \sin \psi \cdot \cos \theta$; $\zeta_{O_1} = L \sin \theta$.

Так как конец оси водила O_1 описывает окружность, радиус которой r , то $L \sin \psi \cdot \cos \theta = r \sin(-3\varphi)$; $L \sin \theta = -r \cos(-3\varphi)$, откуда, учитывая свойства четности и нечетности соответствующих функций, получаем соотношения для выражения углов ψ и θ через угол поворота водила φ :

$$\sin \theta = -r \cos 3\varphi (L)^{-1}; \quad \sin \psi = -r \sin 3\varphi (L \cos \theta)^{-1}. \quad (10)$$

Профили поперечного сечения упаковки для различных значений k в уравнении $\varphi_1 = -k\varphi$ представлены на рис. 3.

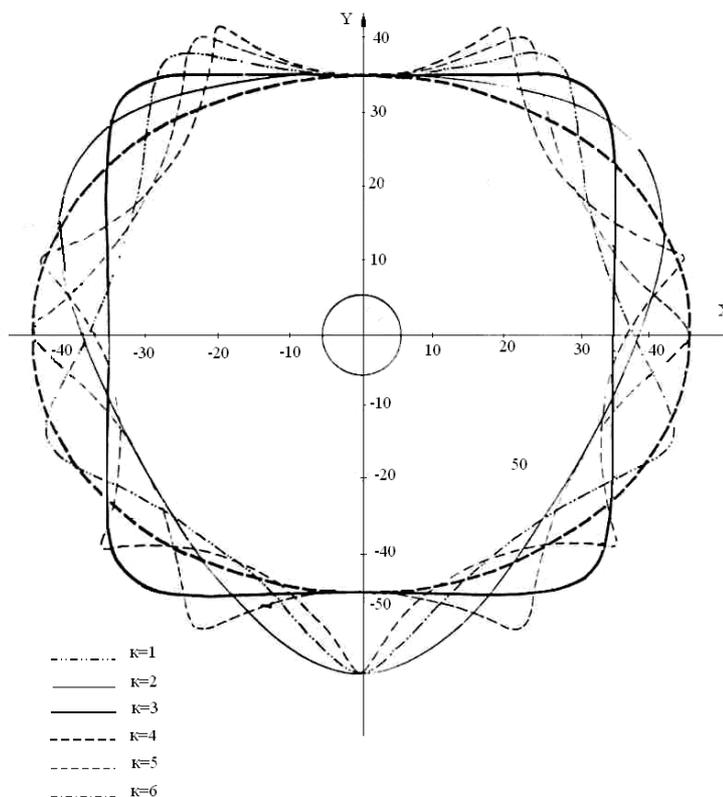


Рис. 3.

Вывод

Найденные законы переносного движения исполнительного органа являются исходными данными для разработки системы автоматического управления пространственно планетарной роликовой головкой при изготовлении упаковки различного сечения.

Список литературы

1. Аксёнова Т.И., Ананьев Т.В., Дворецкая Н.М. и др. Технология упаковочного производства : учебник для вузов / под ред. Розанцева Э.Г. – М. : Колос, 2002. – 184 с.
2. Варепо Л.Г. Производство упаковки из бумаги, картона и гофрокартона : уч. пособие. – Омск : Изд-во ОГТУ, 2002. – 198 с.
3. Ефремов Н.Ф., Васильев А.И., Хмелевский Г.К. Проектирование упаковочных производств : учебное пособие. - М. : МГУП, 2004. – Ч. 1. – 396 с.
4. Ефремов Н.Ф., Гротов А.С., Ефремов Д.Н., Сизов Е.В., Фирсова В.Ю., Кононюк Т.М. Автоматизированное проектирование упаковки : учебное пособие. – М. : МГУП, 2005.

5. Ефремов Н.Ф., Лемешко Т.В., Чуркин А.В. Конструирование и дизайн тары и упаковки : учебник для вузов. – М. : МГУП, 2004. – 242 с.

6. Стюарт Б. Упаковка как инструмент эффективного маркетинга : учебное пособие / пер. с англ. Грачёва В.В. – М. : МГУП, 1999. – 144 с.

Рецензенты:

Жизняков А.Л., д.т.н., профессор, первый зам. директора, зав. кафедрой систем автоматизированного проектирования, МИ (филиал) ВлГУ, г. Муром.

Орлов А.А., д.т.н., профессор, зам. директора по развитию электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, зав. кафедрой физики и прикладной математики, МИ (филиал) ВлГУ, г. Муром.