

УДК 621.798.3

Манипулятор с пространственно планетарной роликовой головкой для изготовления упаковки с различным профилем поперечного сечения

Лазуткина Н.А.

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. В работе рассмотрена техническая реализация управления переносным движением манипулятора для изготовления упаковки с различным профилем поперечного сечения. В качестве приводов переносного движения манипулятора предложено использовать систему двух гидроцилиндров, установленных на раме. Питание цилиндров и осуществляется от насосов регулируемой производительности. При этом образуется замкнутая гидрообъемная передача «насос-гидроцилиндр», закон изменения производительности которой задается с помощью профильного устройства системы программного управления. Для реализации требуемых законов переносного движения манипулятора, определенных ранее, выведены уравнения движения штоков левого и правого гидроцилиндров. Кроме уравнений движения штоков гидроцилиндров в работе определен расход жидкости, поступающей в гидроцилиндры. Результаты исследований по выводу законов управления переносным движением могут быть использованы при разработке технико-экономического обоснования на создание манипулятора с пространственно планетарной роликовой головкой для изготовления упаковки различного профиля поперечного сечения.

Ключевые слова: манипулятор, пространственно планетарная роликовая головка, профиль поперечного сечения, принципиальная гидравлическая схема, управление переносным движением.

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.

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. Drive 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. The paper considers the technical implementation of portable control movement of the manipulator for the manufacture of packaging with different profile cross-section. The drives of the portable motion of the manipulator is proposed to use a system of two hydraulic cylinders mounted on the frame. The power is supplied from cylinders and pumps of adjustable capacity. This forms a closed-loop hydrostatic transmission "pump-hydraulic cylinder", the law changes the performance

which is set with the profile device program control system. For implementation of the required laws of motion of the handheld manipulator, previously defined, equations of motion of the left and right rods of hydraulic cylinders. In addition to the equations of motion of rods of hydraulic cylinders to define fluid flow entering the cylinders. The results of studies on the output control portable motion can be used in the development of a feasibility study on the establishment of a manipulator with spatial planetary roller head for packaging of different cross-sectional profile.

Keywords: manipulator, spatially planetary roller head, cross-sectional profile, schematic schema of hydraulic, portable movement control.

Введение

Манипулятор, предназначенный для изготовления упаковки с различным профилем поперечного сечения должен иметь водило (ось), шарнирно закрепленное на раме.

Цель работы – рассмотреть возможность применения манипулятора с пространственно планетарной роликовой головкой для изготовления упаковки с различным профилем поперечного сечения.

В качестве механической модели манипулятора будем рассматривать твердое тело, имеющее неподвижную точку. Поскольку ось водила не совершает вращения 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 выражать 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.

Для вывода уравнения (1) введем систему координат. Система координат $O\xi\eta\zeta$ является инерциальной (связана с рамой манипулятора) и может рассматриваться как неподвиж-

ная. 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.

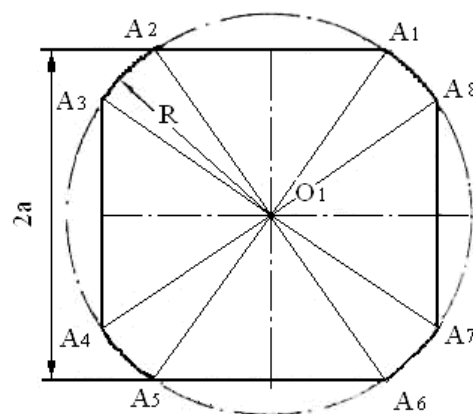


Рис.1. Заданная форма поперечного сечения.

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 вращающееся 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 поворот водила в соотношении: $\varphi_1 = -3\varphi$.

Знак «минус» указывает, что вращение водила O_1A и радиус окружности $O'O$ происходит в противоположных направлениях.

Выпишем координаты точки A в системе $O_1x'y'z'$: $x'_A = 0$; $y'_A = 0$; $z'_A = a$. В системе $Oxyz$ координаты точки A будут: $x_A = a \sin \varphi$; $y_A = L$; $z_A = \cos \varphi$.

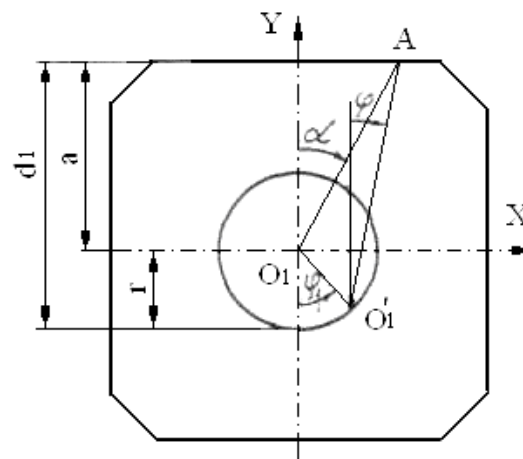


Рис.2.

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:

$$\xi_A = x_A \alpha_{11} + y_A \alpha_{21} + z_A \alpha_{31};$$

$$\eta_A = x_A \alpha_{12} + y_A \alpha_{22} + z_A \alpha_{32};$$

$$\zeta_A = x_A \alpha_{13} + y_A \alpha_{23} + z_A \alpha_{33}, \text{ где } \alpha_{ij}; i, j=1, 2, 3 - \text{косинусы углов между соответствующими осями. Значения косинусов:}$$

$$\alpha_{11} = \cos \psi; \quad \alpha_{12} = \sin \psi; \quad \alpha_{13} = 0;$$

$$\alpha_{21} = -\sin \psi \cdot \cos \theta; \quad \alpha_{22} = \cos \psi \cdot \cos \theta;$$

$$\alpha_{23} = \sin \theta; \quad \alpha_{31} = \sin \psi \cdot \sin \theta;$$

$$\alpha_{32} = -\cos \psi \cdot \sin \theta; \quad \alpha_{33} = \cos \theta.$$

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

$$\xi_A = a \sin \varphi \cdot \cos \psi - L \sin \psi \cdot \cos \theta + a \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta;$$

$$\eta_A = a \sin \varphi \cdot \cos \psi + L \cos \psi \cdot \cos \theta - a \cos \varphi \cdot \cos \psi \cdot \sin \theta;$$

$$\zeta_A = L \sin \theta + a \cos \varphi \cdot \cos \theta, \quad (2)$$

где L – расстояние от точки шарнирного закрепления оси манипулятора на раме до точки пересечения оси водила с плоскостью, в кото-

рой вращается водило пространственно планетарной роликковой 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: $\xi_A = a \operatorname{tg} \alpha$; $\zeta_A = 0$, что на основании (2) приводит к системе двух уравнений:

$$\left. \begin{aligned} L \sin \theta + a \cos \varphi \cdot \cos \theta - a &= 0; \\ -L \sin \psi \cdot \cos \theta + a \sin \varphi \cdot \cos \psi & \\ + a \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta - a \operatorname{tg} \alpha &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

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.

Участок A_3A_4 : $\xi_A = -a$; $\zeta_A = -a \operatorname{ctg} \alpha$;

$$\left. \begin{aligned} L \sin \theta + a \cos \varphi \cdot \cos \theta + a \operatorname{ctg} \alpha &= 0 \\ -L \sin \psi \cdot \cos \theta + a \sin \varphi \cdot \cos \psi & \\ + a \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta + a &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Участок A_5A_6 : $\xi_A = -a \operatorname{tg} \alpha$; $\zeta_A = -a$;

$$\left. \begin{aligned} L \sin \theta + a \cos \varphi \cdot \cos \theta - a &= 0; \\ -L \sin \psi \cdot \cos \theta + a \sin \varphi \cdot \cos \psi & \\ + a \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta + a \operatorname{tg} \alpha &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Участок A_7A_8 : $\xi_A = a$; $\zeta_A = a \operatorname{ctg} \alpha$;

$$\left. \begin{aligned} L \sin \theta + a \cos \varphi \cdot \cos \theta - a \operatorname{ctg} \alpha &= 0; \\ -L \sin \psi \cdot \cos \theta + a \sin \varphi \cdot \cos \psi & \\ + a \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta - a &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

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:

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

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'

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

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:

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

Раскрыв определитель и выполнив необходимые преобразования, получим уравнение

$$-\sin \varphi (\cos \psi - \cos \theta) - \cos \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta + \operatorname{tg} \alpha [\cos \varphi (\cos \theta - \cos \psi) + \sin \varphi \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta] = 0 \quad (9)$$

которое в соответствии с уравнениями (3)-(7) позволяет определить закон движения манипулятора.

Будем отсчитывать углы ψ и θ в том 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 :

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

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

Выведенные законы управления переносным движением используются при разработке технико-экономического обоснования на создание манипулятора с пространственно планетарной роликовой головкой для изготовления упаковки различного профиля поперечного сечения.

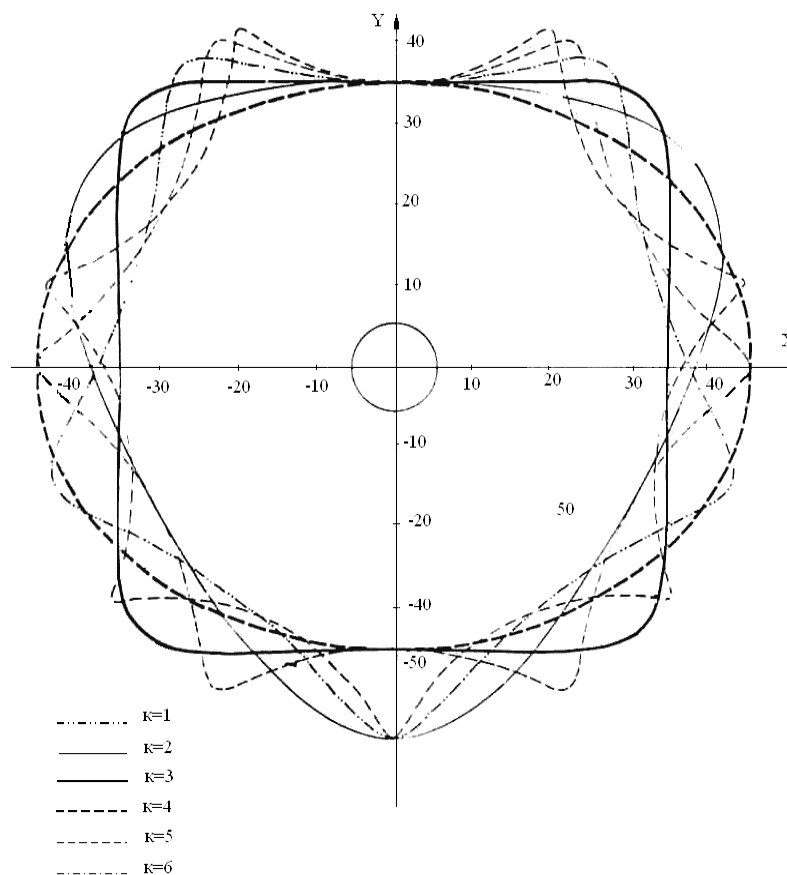


Рис. 3.

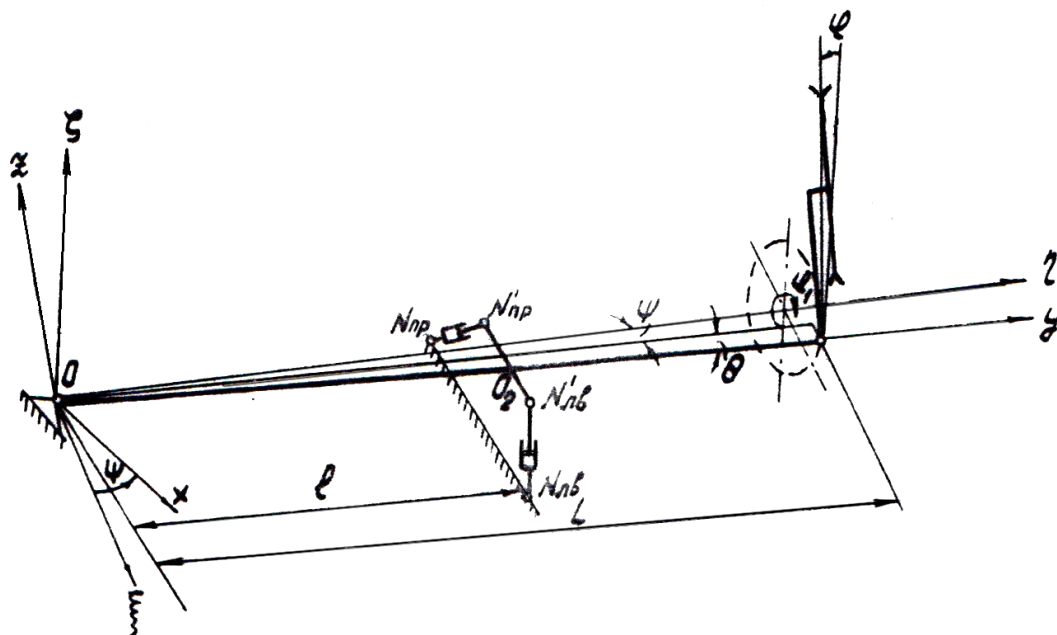


Рис. 4.

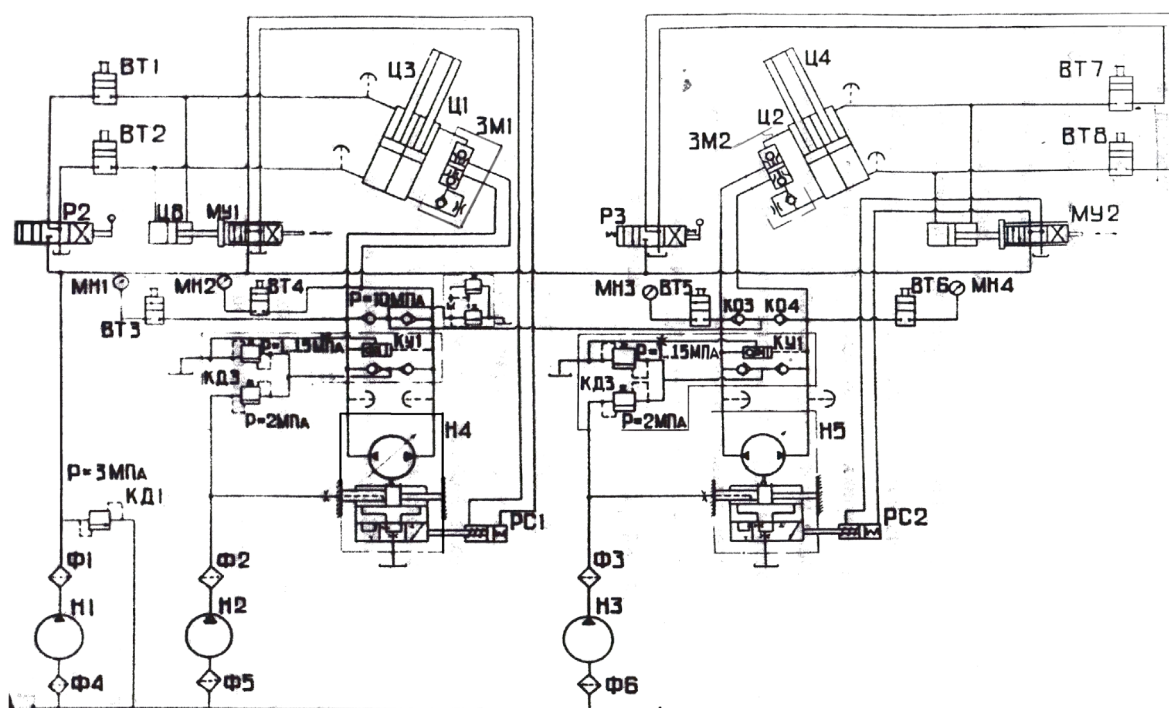


Рис. 5. Принципиальная гидравлическая схема.

Техническая реализация

В разработанной принципиальной гидравлической схеме управления переносным движением манипулятора в качестве силовых гидроцилиндров используются гидроцилиндры Ц1 и Ц2, штоки которых соединены с осью манипулятора (рис. 4). Питание цилиндров Ц1 и Ц2

осуществляется от насосов регулируемой производительности Н4 и Н5. При этом образуется замкнутая гидрообъемная передача «насос-гидроцилиндр», закон изменения производительности которой задается с помощью профильного устройства системы программного управления.

Управление переносным движением манипулятора

Механизм управления МУ1 представляет собой следящий золотник, гильза которого кинематически жестко связана с гидроцилиндром-приемником Ц8, золотник кинематически связан с задающим устройством-копиром (рис.5). С другой стороны сам следящий золотник гидравлически связан с насосом управления Н1 и регулятором скорости РС1, управляющим производительностью насоса Н4. Механизм управления МУ1, суммируя полученные перемещения со стороны гидроцилиндры Ц8 и задающего устройства-копира, подает рабочую жидкость от насоса Н1 в поршневую или штоковую полость гидроцилиндра – регулятора скорости РС-1.

Механизм управления производительностью насоса Н4 состоит из гидроцилиндра с неподвижным двухсторонним штоком, причем диаметры штоков разные, а корпус механически жестко связан с люлькой насоса Н4. Гидроцилиндр с двухсторонним штоком питается от насоса Н2 через следящий золотник, гильза которого кинематически жестко связана с гидроцилиндром, а шток – с регулятором скорости РС-1. Перемещение со стороны регулятора скорости РС-1, преобразовывается в угол поворота люльки насоса Н4, который приводит к изменению производительности основного приводного насоса Н4 замкнутой гидрообъемной передачи «насос-цилиндр». Подпитка этой системы осуществляется от насоса Н2 через подпиточные клапаны КО5 и КО6.

При работе всех насосов гидросистемы исполнительного органа основные приводные насосы Н4 и Н5 в исходном положении имеют нулевую производительность (люлька насоса находится в нейтральном положении). Для начала работы гидроцилиндров перемещения исполнительного органа Ц1 и Ц2 приводится в действие задающее устройство – копир.

При перемещении золотника механизма

управления МУ1 от копира, например, влево (по чертежу происходит подача рабочей жидкости от насоса Н1 через следящий золотник в штоковую полость гидроцилиндра РС1 и этим самым следящий золотник насоса Н4 переместится вправо (по чертежу)). Это приводит к тому, что рабочая жидкость от насоса Н2 поступает в обе полости гидроцилиндра РС1 и поскольку диаметры штоков гидроцилиндра не равны, то происходит перемещение корпуса гидроцилиндра тоже вправо (по чертежу) и изменение производительности насоса Н4.

Рабочая жидкость от насоса Н4, например, поступает через гидрозамок и обратный клапан в поршневую полость гидроцилиндра Ц1, а из штоковой полости через гидрозамок в насос Н4. Разница расходов рабочей жидкости в поршневой и штоковой полостях гидроцилиндра Ц1 восполняется от насоса Н2 через подпиточный клапан КО6.

Гидроцилиндр-датчик Ц3 перемещается вместе с гидроцилиндром Ц1, подает рабочую жидкость из своей штоковой полости в штоковую полость гидроцилиндра Ц8 и последний, перемещаясь влево (по чертежу) перемещает гильзу золотника также влево (как и золотник от копира). В дальнейшем, если не будет задающего перемещения золотнику со стороны копира, то происходит установка гильзы и золотника в нейтральное положение (показанное на чертеже) и этим самым гидроцилиндр РС1 насоса Н4 становится в нейтральное положение и расход насоса Н4 становится нулевым. Аналогично работает система гидрообъемной передачи «насос Н5-гидроцилиндр Ц2».

Уравнения движения штоков гидроцилиндров

Для вывода уравнений движения штоков гидроцилиндров необходимо определить закон движения точки O_2 (точка пересечения оси манипулятора и линии, соединяющей штоки гидроцилиндров. Рассмотрим сечение упаковки, профиль которого формируется при

вращении конца оси манипулятора в соответствии с уравнением $\varphi_1 = -3\varphi$. Ранее были введены уравнения движения конца оси манипулятора. Уравнения, определяющие закон движения точки O_2 , будут представлять:

$$\left. \begin{aligned} \xi_{O2} &= \xi_{O1} \frac{l}{L} = -l \sin\psi \cos\theta, \\ \eta_{O2} &= \eta_{O1} \frac{l}{L} = -l \cos\psi \cos\theta, \\ \zeta_{O2} &= \zeta_{O1} \frac{l}{L} = -l \sin\theta. \end{aligned} \right\}$$

Выпишем координаты точек $N_{лв}^I$, $N_{нр}^I$ в системе координат $OXYZ$:

$$\begin{aligned} X N_{лв}^I &= l_4, & X N_{нр}^I &= -l_4, \\ Y N_{лв}^I &= l, & Y N_{нр}^I &= l, \\ Z N_{лв}^I &= l_2, & Z N_{нр}^I &= l_2. \end{aligned}$$

Воспользовавшись матрицей перехода от системы координат $OXYZ$ к системе $O\xi\eta\zeta$

	(ξ)	(η)	(ζ)
(X)	$\cos\psi$	$\sin\psi$	0
(Y)	$-\sin\psi \cos\theta$	$\cos\psi \cos\theta$	$\sin\theta$
(Z)	$\sin\psi \cos\theta$	$-\cos\psi \sin\theta$	$\cos\theta$

Определим координаты точек $N_{лв}^I$, $N_{нр}^I$ в системе $O\xi\eta\zeta$

$$\left. \begin{aligned} \xi N_{лв}^I &= l_4 \cos\psi - l \sin\psi \cos\theta + l_2 \sin\psi \sin\theta, \\ \eta N_{лв}^I &= l_4 \sin\psi + l \cos\psi \cos\theta - l_2 \cos\psi \sin\theta, \\ \zeta N_{лв}^I &= l \sin\theta + l_2 \cos\theta, \\ \xi N_{нр}^I &= -l_4 \cos\psi - l \sin\psi \cos\theta + l_2 \sin\psi \sin\theta, \\ \eta N_{нр}^I &= -l_4 \sin\psi + l \cos\psi \cos\theta - l_2 \cos\psi \sin\theta, \\ \zeta N_{нр}^I &= l \sin\theta + l_2 \cos\theta. \end{aligned} \right\}$$

Заметим, что уравнения представляют собой закон движения точек крепления штоков гидроцилиндров оси манипулятора исполнительного органа.

Теперь воспользовавшись, выпишем координаты точек крепления гидроцилиндров к раме манипулятора $N_{лв}$, $N_{нр}$

$$\begin{aligned} \xi N_{лв} &= l_1 - l, & \xi N_{нр} &= -l_2, \\ \eta N_{лв} &= l, & \eta N_{нр} &= l, \\ \zeta N_{лв} &= -l_1, & \zeta N_{нр} &= -l_1. \end{aligned}$$

Зная координаты точек $N_{лв}$ и $N_{лв}^I$, $N_{нр}$ и $N_{нр}^I$, определим суммарную длину штоков и гидроцилиндров

$$\begin{aligned} (l_{ц} + l_{шлв})^2 &= (\xi N_{лв} - \xi N_{лв}^I)^2 + \\ &+ (\eta N_{лв} - \eta N_{лв}^I)^2 + (\zeta N_{лв} - \zeta N_{лв}^I)^2, \\ (l_{ц} + l_{шнр})^2 &= (\xi N_{нр} - \xi N_{нр}^I)^2 + \\ &+ (\eta N_{нр} - \eta N_{нр}^I)^2 + (\zeta N_{нр} - \zeta N_{нр}^I)^2. \end{aligned}$$

Разрешив это уравнение относительно $l_{шлв}$ и $l_{шнр}$ и используя формулы, найдем уравнения движения штоков гидроцилиндров:

$$\begin{aligned} l_{шлв} &= l_{шлв}(\psi, \theta) = [(l_4 \cos\psi - l \sin\psi \cos\theta + \\ &+ l_2 \sin\psi \sin\theta + l_2 - l_1)^2 + (l_4 \sin\psi + l \cos\psi \cos\theta - \\ &- l_2 \cos\psi \sin\theta - l)^2 + (l \sin\theta + l_2 \cos\theta + l_1)^2]^{1/2} - l_{ц}, \\ l_{шнр} &= l_{шнр}(\psi, \theta) = [(-l_4 \cos\psi - l \sin\psi \cos\theta + \\ &+ l_2 \sin\psi \sin\theta + l_2)^2 + (-l_4 \sin\psi + l \cos\psi \cos\theta - \\ &- l_2 \cos\psi \sin\theta - l)^2 + (l \sin\theta + l_2 \cos\theta + l_1)^2]^{1/2} - l_{ц}. \end{aligned}$$

Определение расхода жидкости гидроцилиндров

Расход жидкости гидроцилиндров определим по формуле

$$\Theta = F_n V,$$

где F_n - рабочая площадь поршня, V - линейная скорость поршня. При прямом ходе поршня (когда $l_{ш}$ увеличивается) $F_n = \frac{\pi D^2}{4}$, при обратном ходе поршня (когда $l_{ш}$ уменьшается) $F_n = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$, где D - диаметр поршня, d - диаметр штока.

Линейная скорость движения поршня равна скорости конца штока гидроцилиндра

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{dl_{ш}}{dt} = \frac{dl_{ш}}{d\varphi}, \\ \varphi &= \frac{dl_{ш}}{d\varphi} \omega_B, \end{aligned} \right\}$$

где $\omega_B = \dot{\varphi}$ - угловая скорость вращения оси.

Для определения скорости поршня по формуле следует в формулах перейти от зависимостям $l_{шлв}(\psi, \theta)$, $l_{шнр}(\psi, \theta)$ к зависимостям $l_{шлв}$ и $l_{шнр}$ от угла поворота оси манипулятора.

Ранее были получены формулы, выражающие зависимость углов ψ и θ от угла поворота оси манипулятора:

$$\begin{aligned} \sin\psi &= \frac{r \sin 3\varphi}{-L \cos\theta} \\ \sin\theta &= \frac{r \cos 3\varphi}{-L} \end{aligned}$$

В формулах преобразуем выражения, стоящие под корнем, в результате получим

$$l_{шлв} = \{2l^2 + (l_1 - l_2)^2 + l_4^2 + l_1^2 + l_2^2 + 2l_1(l_2 \cos \theta + l \sin \theta) + 2(l_2 \sin \theta + l \cos \theta) [l \cos \psi - (l_1 - l_2) \sin \psi] - 2l_4[l \sin \psi + (l_1 - l_2) \cos \psi]\}^{1/2} - l_u,$$

$$l_{шпр} = \{2l^2 + l_2^2 + l_4^2 + l_1^2 + l_2^2 + 2l_1(l_2 \cos \theta + l \sin \theta) + 2(l_2 \sin \theta - l \cos \theta) [l \cos \psi + l_2 \sin \psi] - 2l_4[l \sin \psi - l_2 \cos \psi]\}^{1/2} - l_u.$$

В формулы подставим значения $\sin \psi$, $\sin \theta$, определяемые по формуле и $\cos \psi$, $\cos \theta$, определяемые по формуле $\cos \psi = (1 - \sin^2 \psi)^{1/2}$ и $\cos \theta = (1 - \sin^2 \theta)^{1/2}$.

Выполнив необходимые преобразования, получим

$$l_{шлв} = \{2l^2 + (l_1 - l_2)^2 + l_4^2 + l_1^2 + l_2^2 - 2\frac{l^2}{L}\sqrt{L^2 - r^2} - 2\frac{l_2}{L}(l_1 - l_2)\sin 3\varphi - 2\frac{l_1 l r}{L}\cos 3\varphi + 2\frac{l_1 l_2}{L}\sqrt{L^2 - r^2}\cos^2 3\varphi + \frac{2}{\sqrt{L^2 - r^2}\cos^2 3\varphi}[l_4(l_1 - l_2)\sqrt{L^2 - r^2} + l_4 l r \sin 3\varphi - \frac{l_2 r l}{L}\sqrt{L^2 - r^2}\cos 3\varphi - \frac{l_2 r_2}{L}(l_1 - l_2)\sin 3\varphi \cos 3\varphi]\}^{1/2} - l_u$$

$$l_{шпр} = \{2l^2 + l_2^2 + l_4^2 + l_1^2 + l_2^2 - 2\frac{l^2}{L}\sqrt{L^2 - r^2} - 2\frac{l_2}{L}(l_2 \sin 3\varphi - 2\frac{l_1 l r}{L}\cos 3\varphi + 2\frac{l_1 l_2}{L}\sqrt{L^2 - r^2}\cos^2 3\varphi + \frac{2}{\sqrt{L^2 - r^2}\cos^2 3\varphi}[l_4(l_1 - l_2)\sqrt{L^2 - r^2} + l_4 l_2 \sin 3\varphi - \frac{l_2 r l}{L}\sqrt{L^2 - r^2}\cos 3\varphi - \frac{l_2 r_2}{L}l_2 \sin 3\varphi \cos 3\varphi]\}^{1/2} - l_u$$

С помощью полученных формул можно определить расход жидкости гидроцилиндров.

Вывод

Найденные законы переносного движения исполнительного органа являются исходными

данными для разработки системы автоматического управления пространственно планетарной роликовой головкой при изготовлении упаковки различного сечения.

Литература

1. Аксёнова Т.И., Ананьев Т.В., Дворецкая Н.М. и др.; под ред. Розанцева Э.Г. Технология упаковочного производства: Учебник для вузов. – М.: Колос, 2002. – 184с.
2. Варено Л.Г. Производство упаковки из бумаги, картона и гофрокартона: Учебное пособие. – Омск: Изд-во ОГТУ, 2002. – 198 с.
3. Ефремов Н.Ф., Васильев А.И., Хмелевский Г.К. Проектирование упаковочных производств. Часть 1: Учебное пособие. – М.: МГУП, 2004 – 396с.
4. Ефремов Н.Ф., Грозов 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.; Пер. с англ. Грачёва В.В. Упаковка как инструмент эффективного маркетинга: Учебное пособие. – М.: МГУП, 1999. – 144 с.
7. Лазуткина Н.А. Управление переносным движением манипулятора с пространственно планетарной роликовой головкой для изготовления упаковки с различным профилем поперечного сечения // Современные проблемы науки и образования, № 5, 2014.
8. Лазуткина Н.А. Расчетно-оптимизационная подсистема проектирования манипулятора с пространственно планетарной роликовой головкой // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, № 4, 2014. – с. 71-77.

References

1. Aksjonova T.I., Ananjev T.V., Dvoreckaja N.M.. Tehnologija upakovocnogo proizvodstva [Technology packaging production]. – Moscow: Kolos, 2002. – 184p.
2. Varepo L.G. Proizvodstvo upakovki iz bumagi, kartona i gofrokartona [Production of packaging made of paper, cardboard and corrugated cardboard]. –

Omsk: Izd-vo OG TU, 2002. – 198 p.

3. Efremov N.F., Vasiljev A.I., Hmelevskij G.K. Proektirovanie upakovocnyh proizvodstv [Designing packaging industries]. Part 1. – Moscow: MGUP, 2004 – 396 p.

4. Efremov N.F., Grotov A.S., Efremov D.N., Sizov E.V., Firsova V.Ju., Kononjuk T.M. Avtomatizirovanoe proektirovanie upakovki [Computer-aided package design]. – Moscow: MGUP, 2005.

5. Efremov N.F., Lemeshko T.V., Churkin A.V. Konstruirovanie i dizajn tary i upakovki [Construction and design containers and packaging]. – Moscow: MGUP, 2004. – 242 s.

6. Stuart B. Upakovka kak instrument jeffektivnogo marketinga [Packing as a tool for effective marketing]. – Moscow: MGUP, 1999. – 144 p.

7. Lazutkina N.A. Upravlenie perenosnym

dvizheniem manipulyatora s prostranstvenno planetarnoj rolikovoj golovkoj dlja izgotovlenija upakovki s razlichnym profilem poperechnogo sechenija [Portable traffic management arm with the space of the planetary roller head for the production of packaging with different cross-sectional profile] // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija [Modern problems of science and education], № 5, 2014.

8. Lazutkina N.A. Raschetno-optimizacionnaja podsistema proektirovanija manipulyatora s prostranstvenno planetarnoj rolikovoj golovkoj [Calculation and optimization design subsystem of the manipulator with the spatial- planetary roller head] // Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti [Engineering industry and life safety], № 4, 2014. – p. 71-77.

Статья поступила в редакцию 4 сентября 2015 г.

Лазуткина Наталья Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: lazutkina1963@mail.ru

Lazutkina Natalia Aleksandrovna – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: lazutkina1963@mail.ru